Anlage und Ausführung

von

Wasserleitungen und Wasserwerken

zur

Wasserversorgung von Städten,
Ortschaften, Anstalten und Privatgebäuden.

Leitfaden und Handbuch

für

Ingenieure, Architekten, Verwaltungs-Beamte und andere Berufskreise

in allen Wasserversorgungsfragen.

Dritte Auflage,

nach den neuesten Fortschritten umgearbeitet und vervollständigt

von

Friedrich König

Ingenieur und Hydrotekt.

Mit 221 Abbildungen im Text und auf 16 Tafeln.

Leipzig

Verlag von Otto Wigand.

1901.

Einleitung.

Die ausserordentlichen Fortschritte, welche die Technik und insbesondere die Hydrotechnik im Lauf der vergangenen Jahre zu verzeichnen hatte, reiften das Bedürfnis für eine neue Auflage des vorliegenden Werkes, welche dem heutigen Standpunkte der Technik in jeder Beziehung Genüge leisten soll. Der Verfasser hat daher für diese dritte Auflage das Werk einer vollständigen Umarbeitung in Form und Inhalt unterzogen und, soweit es der Raum des Buches gestattet, darin das Wesentliche des Wasserleitungsbaues in natürlicher Aufeinanderfolge zusammengefasst.

Das Buch soll dem Fachtechniker nicht nur ein Leitfaden, sondern auch ein Handbuch sein, welches ihn bei seinen Arbeiten durch die darin enthaltenen Aufschlüsse und Zahlenangaben ständig zu unterstützen vermag. Aber auch dem Laien, besonders dem Verwaltungsbeamten, dessen Beruf ihn mit der Anlage von Wasserleitungen in Berührung bringt, bietet das Buch eine grosse Menge allgemein wichtiger Gesichtspunkte in dieser Hinsicht.

Das Vorkommen des Wassers in der Natur ist unter Zugrundelegung meiner Theorie der Wasserverteilung über und unter der Erdoberfläche, die sich auf die Vorgänge des natürlichen Wasserkreislaufes stützt, geschildert. Nach dieser Theorie vollzieht sich die Entstehung und Sammlung der Grundwasser und ihrer Quellen in wesentlich anderer Weise als nach den bisher allgemein üblichen Annahmen, worunter

diejenige der Dreiteilung der atmosphärischen Niederschläge ($^1/_3$ verdunstet, $^1/_3$ versickert, $^1/_3$ läuft oberflächlich ab) die weiteste Verbreitung hat. Viele Vorgänge im Wasserkreislaufe, welche sich durch die seitherige Quellenlehre nicht erklären lassen, werden nach meiner Theorie selbstverständlich; eingehend habe ich meine Theorie in einem besonderen Schriftwerk entwickelt.

Bezüglich des mathematischen Inhaltes des Buches habe ich mich auf das für den Techniker Unentbehrliche beschränkt und möglichst allgemein verständliche Formen gewählt; die Vertiefung in verwickelte theoretische Untersuchungen ist vermieden, zumal diese ohnehin für die Praxis oft nur geringen Wert haben. Der allgemeinen Verständlichkeit wegen und aus Achtung vor unsrer Muttersprache, habe ich Fremdwörter thunlichst vermieden, auch die sonst üblichen Ausdrücke durch deutsche Bezeichnungen ersetzt, in der Hoffnung, dass diese die Fremdlinge mit der Zeit verdrängen werden.

Ein ausführliches Inhaltsverzeichnis, sowie das Verzeichnis der Tabellen erleichtern den Gebrauch des Buches beim Nachschlagen bestimmter Stellen.

Erfüllt von dem Wunsche, dass diese dritte Auflage günstige Aufnahme bei allen Interessenten finden möge, sieht dem Erscheinen des Buches vertrauensvoll entgegen

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

Erster Abschnitt.

Das Vorkommen des Wassers in der Natur.

Zweiter Abschnitt.

Hydraulik.

Dritter Abschnitt.

Wasserbedarf.

Vierter Abschnitt.

Die Fassung der oberirdischen, sichtbaren Gewässer.

Fünfter Abschnitt.

Die Gewinnung oder Fassung der unterirdischen Gewässer.

Sechster Abschnitt.

Die künstliche Sammlung der Niederschlagswasser.

Siebenter Abschnitt.

Die Reinigung des Wassers.

Achter Abschnitt.

Wasserbehälter zur Ausgleichung der Schwankungen im Wasserzulauf und im Wasserverbrauche.

Neunter Abschnitt.

Die künstliche Hebung des Wassers auf die Höhe des erforderlichen Betriebsdruckes.

Elfter Abschnitt.

Die Hauswasserleitungen.

Erster Abschnitt.

Das Vorkommen des Wassers in der Natur.

Die Natur des Wassers.

Das Wasser erfüllt in Dampfform die ober- und unterirdische Atmosphäre, als flüssiges Wasser durchdringt es die Spalten und Klüfte des Erdinnern, durchströmt die Rinnsale der Flüsse und sammelt sich in den Becken der Seen und Meere der Erdoberfläche. Als Eis setzt es ausgedehnte Gletscherfelder in den Hochgebirgen zusammen und bedeckt die Meeresfläche in den Polargegenden. Es bewegt sich in ewigem Kreislaufe, von der Erde in die Atmosphäre aufsteigend und von da niederfallend, die Erdrinde bis in grosse Tiefen durchdringend und dabei stets seine Zustandsform ändernd.

Das reine Wasser besteht aus 88,80 Gewichtsteilen Sauerstoff und 11,2 Gewichtsteilen Wasserstoff oder aus 1 Raumteil Sauerstoff und 2 Raumteilen Wasserstoff, welche Verbindung in der Chemie mit H_2O bezeichnet wird. Das natürliche Wasser ist nie chemisch rein, weil sowohl Gase, als auch alle flüssigen und festen Stoffe meistens in Wasser löslich sind. Selbst das Regenwasser enthält Spuren von Ammoniak, Salpetersäure und organischen Stoffen; nur durch Destillation kann man chemisch reines Wasser erhalten. Das chemisch reine Wasser ist farblos, ohne Geruch, ohne Geschmack.

Das specifische Gewicht des Wassers bei 760 mm Barometerstand und $+4^0$ C. Temperatur ist gleich 1,0, und da die atmo-

sphärische Luft unter demselben Luftdrucke und bei 0° C. Temperatur ein specif. Gewicht von 0,0013 hat, so ist das Wasser 800 mal schwerer als die Luft der Atmosphäre. Das Gewicht eines Kubikcentimeters reinen Wassers von + 4° C. Temperatur und bei 760 mm Barometerstand bildet die Einheit unseres Gewichtssystemes und wird als 1 g bezeichnet; 1000 ccm = 1 Liter = 1000 g = 1 kg und 1000 l = 1 cbm = 1000 kg.

Die Gase verschluckt das Wasser in um so grösserem Masse, je niedriger seine Temperatur ist und je höherer Druck auf ihm lastet. Aus der atmosphärischen Luft saugt das Wasser den Sauerstoff auf, den es durch Gefrieren wieder verliert; daher sind die abfliessenden Gletscherwasser sehr sauerstoffarm, und Fische können darin erst leben, nachdem diese Wasser nach längerem Verlaufe aus der Luft wieder Sauerstoff aufgenommen haben. Ebenso verhält sich das Wasser auch der Kohlensäure gegenüber, und Ammoniak, Chlorwasserstoff, Chlor, Stickstoff, Wasserstoff und schwefelsaure Gase werden auch von ihm aufgenommen. Der Gehalt des Wassers an Kohlensäure gibt ihm die erquickende Frische, verbunden mit einem wohlthuenden Einflusse auf den Magen.

Mit Hülfe der Kohlensäure löst das Wasser die kohlensauren Alkalien auf, es greift alle Mineralien an, mit Ausnahme der Edelmetalle, des Diamants und Graphits; Wasserdampf, mit schwefligen Dämpfen vermischt, zersetzt alle Gesteine.

Am häufigsten findet man im Wasser die Auflösungen des doppeltkohlensauren Kalkes, Natrons und anderer Alkalien. Die Menge der Kalk- und Magnesiasalze im Wasser bestimmen dessen Härte, indem 1 Gewichtsteil Alkali in 100 000 Gewichtsteilen Wasser als ein Härtegrad bezeichnet wird; in Frankreich und England ist eine andere Einheit gebräuchlich, so dass 5 englische Härtegrade gleich 4 deutschen und 10 französche gleich 5,6 deutschen sind.

In hartem Wasser kochen die Speisen schwerer weich, als in weichem Wasser; Seife bildet darin keinen Schaum, sondern gerinnt, indem sie sich in unlösliche Kalkseife verwandelt; erst nachdem alle Alkalien durch Seife gebunden sind, beginnt die Schaumbildung. Aus der Menge einer Seifenlösung, welche dem

Wasser zugeschüttet werden muss, bis Schaumbildung eintritt, kann man auf den Härtegrad des Wassers schliessen. Durch Kochen wird die im Wasser enthaltene freie Kohlensäure ausgetrieben, und in demselben Masse werden die darin enthaltenen Kalk- und Magnesiasalze unlöslich und als Niederschlag ausgeschieden, wodurch der lästige Kesselstein sich bildet. Aber nicht alle in Wasser gelösten Salze werden durch das Kochen ausgeschieden, so z. B. die schwefelsauren Salze, die Chlor- und Stickstoffverbindungen. Den durch das Kochen abgeschiedenen Teil der Härte bezeichnet man als vorübergehende Härte, während die gelöst bleibenden Stoffe dem Wasser die bleibende Härte verleihen. Schon beim ruhigen Stehen des Wassers an der freien Luft verflüchtigt sich freie Kohlensäure; das Wasser wird weich, verliert aber auch seinen erfrischenden Geschmack.

Ein Gehalt von Salpetersäure im Wasser ist besonders in gesundheitlicher Beziehung von grosser Bedeutung, weil die im Wasser gelöste Salpetersäure ihren Ursprung von der Verwesung organischer Stoffe herleitet, wodurch weiter zweifellos ist, dass das Wasser mit verwesenden Organismen in Berührung kam. Dasselbe gilt von der salpetrigen Säure und vom Ammoniak; ein ganz geringer Gehalt daran macht das Wasser für den Genuss unbrauchbar, weil das Wasser aus den Organismen auch organische Stoffe und lebende Mikroorganismen auflöst, worunter Krankheitserreger sein können.

Das Meerwasser enthält auf 1000 Gewichtsteile Wasser $31^1/_2$ Teile feste Stoffe, worunter 24 Teile Kochsalz, 4 Teile schwefelsaure und salzsaure Magnesia, sowie ausserdem noch Spuren verschiedener anderer Stoffe. Das Meerwasser hat einen salzigen Geschmack und wird in der Richtung von den Polen nach dem Aequator und vom Meeresspiegel nach der Tiefe immer salziger; mit der Annäherung des Meeres an die Küstenländer nimmt wegen der einfliessenden Süsswasser der Salzgehalt ab.

Das Wasser gefriert, sobald bei einem Atmosphärendruck von 760 mm Quecksilbersäule die Temperatur unter 0° C. sinkt; bei den Temperaturen zwischen $+ 0^0$ und $+ 100^0$ C. und gleichem

Luftdrucke von 760 mm bleibt das Wasser flüssig; bei + 100° C. und 760 mm Barometerstand fängt es an zu sieden, d. h. die Dampfentwickelung wird bei dieser Temperatur so heftig, dass das Wasser unter Brausen durch die aufsteigenden Dampfbläschen in Wallung gerät. Sobald der Siedepunkt erreicht ist, entzieht die Dampfentwickelung alle dem Wasser neu zugeführte Wärme, so dass die Siedetemperatur immer auf gleicher Höhe stehen bleibt. Aendert sich dagegen der Luftdruck, so ändert sich auch die Siedetemperatur, indem das Sieden des Wassers überhaupt eintritt, sobald die Dampfspannung den auf dem Wasser lastenden Druck zu überwinden vermag. Das Sieden erfolgt daher bei um so geringerer Temperatur, je niedriger der Luftdruck wird. Der beim Sieden sich entwickelnde Dampf hat dieselbe Temperatur wie das siedende Wasser. In dem Hospiz von St. Bernhard mit 540 mm durchschnittlichem Barometerstande siedet das Wasser schon bei 92° C.; auf der Spitze des Montblanc aber schon bei 82° C. Bei höherem Drucke als 760 mm Barometerstand bleibt das Wasser auch unter höherer Erwärmung als 100° C. noch flüssig; im heissen Erdinnern, wo der Luftdruck mit der Tiefe unter dem Meeresspiegel erheblich zunimmt, kann deshalb das Wasser auch bei viel höheren Temperaturen als 100° C. noch flüssig bleiben ohne zu sieden.

Bei + 4° C. Temperatur und 760 mm Luftdruck, hat das Wasser seine grösste Dichtigkeit, die sowohl bei einer Minderung als bei Erhöhung der Temperatur abnimmt. Das Eis hat deshalb ein geringeres specif. Gewicht als Wasser von + 4° C. Das Meerwasser erreicht je nach seinem Salzgehalte seine grösste Dichtigkeit unter + 4° C.; das Salz wird bei dem Gefrieren des Meerwassers ausgeschieden, und man erhält deshalb durch Schmelzen des Meereises ein Wasser von geringem Salzgehalte.

Die Art der Eisbildung gefrierender Gewässer beruht auf der Eigentümlichkeit des Wassers, dass es seine grösste Dichtigkeit bei + 4° C. hat. Besitzt z. B. ein Gewässer an seiner Oberfläche eine Temperatur, welche + 4° C. übersteigt, so wird das Wasser bei der Oberflächenabkühlung desselben auf + 4° C. hier dichter und schwerer als die unter der Oberfläche liegenden Wasser-

schichten; das Oberflächenwasser muss daher abwärts sinken und drängt dabei die leichteren Wasser nach oben. Dieser Kreislauf der verschieden erwärmten Wasserschichten setzt sich so lange fort, bis das Gesamtwasser von oben nach unten auf + 4° C. abgekühlt ist und gleiche Dichtigkeit erlangt hat. Setzt sich dann die Abkühlung an der Wasseroberfläche noch weiter fort, so werden dadurch die obersten Wasserschichten leichter als die unteren, sinken also nicht mehr in diese hinab und werden infolgedessen immer mehr abgekühlt bis sie sich in Eis verwandeln.

Auf diese Weise findet das Gefrieren des Wassers von oben nach unten statt, und das oben sich bildende Eis schwimmt auf dem Wasser, weil es leichter ist als dieses. Flüsse, Ströme und Seen können daher nicht von Grund auf zufrieren, wodurch sie schliesslich zu einem Eisblocke würden, der durch das zufliessende Wasser immer weiter über die Ufer sich ausdehnen und alles Lebende zerstören würde.

Gefriert flüssiges Wasser in einem geschlossenen Raume, so zersprengt es dessen Wände, wenn diese der dabei stattfindenden Ausdehnung des Wassers Widerstand leisten.

Der Uebergang des Wassers in die Dampfform findet nicht nur beim Sieden, sondern überhaupt bei jeder Temperatur des Wassers mehr oder weniger statt. Die Dampfmenge, welche ein bestimmter Luftraum aufzunehmen vermag, ist durch dessen Temperatur beschränkt, indem jeder Temperatur ein bestimmter grösster Dampfgehalt der Luft entspricht; ist dieser Höchstgehalt vorhanden, so bezeichnet man die Luft als gesättigt und ebenso auch den Dampf als gesättigt.

Das Sättigungsvermögen der atmosphärischen Luft erhöht sich mit ihrer Temperatur; bei weiterer Erwärmung schon gesättigter Luft wird diese wieder ungesättigt und kann nun noch mehr Dampf aufnehmen; bei Abkühlung gesättigter Luft aber verringert sich das Sättigungsvermögen, und der nun überschüssige Teil des in der Luft enthaltenen Dampfes wird als flüssiges Wasser ausgeschieden. Die Mischung des Dampfes mit der atmosphärischen Luft vollzieht sich nach dem Gesetze der Diffussion

der Gase, so dass das eine in das andere hineindringt und dessen Raum ausfüllt, als wenn es nicht vorhanden wäre; das Eindringen des Dampfes in die Luft erfolgt um so langsamer, je mehr sich deren Dampfgehalt dem Sättigungsgrade nähert.

Im Sättigungszustande erreicht der Wasserdampf auch die seiner Temperatur, welche gleich der Lufttemperatur ist, entsprechende grösste Spannung. Die Temperatur, welche die Luft im gesättigten Zustande besitzt, bezeichnet man als deren Taupunkt.

Durch den Uebergang des Wassers aus der festen in die flüssige und aus dieser in die Dampfform wird eine bestimmte Arbeit durch Wärme geleistet, die entweder zugeführt oder der Umgebung entzogen werden muss und die von der weniger dichten Zustandsform des Wassers gebunden wird. Umgekehrt wird bei der Umwandlung aus dem dampfförmigen in den flüssigen und von diesem in den festen Zustand dieselbe Wärmemenge wieder befreit und an die Umgebung abgegeben. Diese in stetem Umtausche befindliche Wärme bezeichnet man als gebundene (latente), auch unfühlbare Wärme im Gegensatze zu der fühlbaren oder freien Wärme der Stoffe, die wir als deren Temperatur kennen. Für die Bestimmung der Wärmemenge gilt als Masseinheit (We) diejenige Wärmemenge, welche erforderlich ist, um 1 kg flüssiges Wasser von 0° C. auf + 1° C. zu erwärmen. Um z. B. 1 kg Eis von ± 0° C. in flüssiges Wasser von ± 0° C. zu verwandeln, müssen 79 solcher Wärmeeinheiten dem schmelzenden Eise zugeführt und von diesem gebunden werden. Die Wärme, welche durch das Schmelzen eines Stoffes gebunden wird, nennt man dessen Schmelzwärme. Um die Temperatur des Wassers von ± 0° C. auf + 100° C. zu erhöhen, sind für 1 Liter Wasser 100 Wärmeeinheiten nötig; um 1 l flüssigen Wassers von 100° C. in Dampf von 100° C. zu verwandeln (bei 760 mm Barometerstand), bedarf man 537 Wärmeeinheiten; demnach müssen, um 1 l Wasser von 0° C. in Dampf von 100° C. zu verwandeln, 637 We zugeführt werden, wovon 537 We gebunden, also nicht fühlbar, und 100 We frei sind. Die durch die Verdampfung gebundene Wärme bezeichnet man als Verdampfungswärme.

Enthält die atmosphärische Luft nicht den vollen, ihrem Sättigungsvermögen entsprechenden Dampfgehalt, so bezeichnet man ihren Dampfgehalt als relative Feuchtigkeit; die zur Sättigung noch fehlende Dampfmenge nennt man das Sättigungsdeficit, und beide werden in Procenten der Sättigungs-Dampfmenge ausgedrückt. Jeder relativen Feuchtigkeit der Luft entspricht eine bestimmte Temperatur, bei welcher die Luft mit dieser relativen Feuchtigkeit gesättigt wäre und nennt man dies die Sättigungstemperatur oder den Taupunkt.

Die folgende Tabelle enthält die Dampfspannungen, Wärmemengen und Dampfgewichte für verschiedene Luft- und Dampftemperaturen. Zur Berechnung der Verdampfungswärme für andere Temperaturen als in der Tabelle vorhanden sind, dient folgende Gleichung:

$Wv = 606{,}5 - 0{,}695 . T$ Wärmeeinheiten für 1 kg Wasser.
Wv = Verdampfungswärme.
T = Dampftemperatur in Celsiusgraden.

Ferner zur Berechnung des Gewichtes des in 1 cbm Luft mit der Temperatur = T enthaltenen gesättigten Wasserdampfes mit der Spannung A in Atmosphären folgende Gleichung:

$$\text{Gewicht } G = 0{,}80788 \frac{A}{(1 + 0{,}00367 . T)}$$

$$A = \frac{1 + 0{,}00367 . T) . G}{0{,}80788}$$

$$T = \frac{0{,}80788 . A - G}{0{,}00367 . G}$$

Aus der Tabelle und obigen Gleichungen geht hervor, dass das Dampfgewicht fast in gleichem Verhältnis mit der Dampfspannung wächst, und dass bei hohen Dampfspannungen es nur geringer Temperaturveränderungen bedarf, um eine erhebliche Druckveränderung hervorzurufen.

Tabelle 1.

Dampfmengen und Verdampfungswärme für verschiedene Dampfspannungen.

Absolute Dampfspannung. Atm.	Temperaturgrade. Celsius	Dampfgewicht von 1 cbm. kg	Verdampfungswärme für 1 kg We	Absolute Dampfspannung. Atm.	Temperaturgrade. Celsius	Dampfgewicht von 1 cbm. kg	Verdampfungswärme für 1 kg. We
0,00120	—20	0,00106	620,40	0,6	85,48	0,364	546,76
0,00184	—15	0,00158	616,92	0,7	89,47	0,420	543,94
0,0024	—10	0,00231	613,45	0,8	93,00	0,476	541,14
0,0041	—5	0,00337	609,97	0,9	96,10	0,532	539,20
0,0060	+0	0,00489	606,50	1,0	99,10	0,588	537,15
0,0086	±5	0,00682	603,03	1,1	101,76	0,643	535,26
0,0121	10	0,00939	599,55	1,2	104,24	0,697	533,50
0,0167	15	0,01282	596,07	1,3	106,55	0,752	531,86
0,0231	20	0,01722	592,59	1,4	108,72	0,806	530,32
0,0310	25	0,02293	589,11	1,5	110,76	0,860	528,87
0,0413	30	0,03021	585,62	1,7	114,54	0,967	526,18
0,0556	35	0,03941	582,14	2,0	119,57	1,127	522,60
0,0710	40	0,0509	578,65	2,5	126,73	1,389	517,49
0,1	45,58	0,067	574,75	3,0	132,80	1,649	513,15
0,2	59,76	0,129	564,84	4,0	142,82	2,160	505,96
0,3	68,74	0,189	558,53	5,0	150,99	2,664	500,07
0,4	75,47	0,248	553,81	6,0	157,94	3,161	495,05
0,5	80,90	0,306	550,00	7,0	164,03	3,654	490,64

Ist Dampf in einem Raume eingeschlossen, wo er mit Wasser nicht mehr in Berührung ist, so erhöht sich bei fortgesetzter Erwärmung seine Spannung in dem Masse der Ausdehnung des Dampfes bei derselben Temperaturerhöhung im freien Raume. Derartig gespannten Dampf nennt man überhitzten Dampf; solche Dampfeinschlüsse kommen im Erdinnern häufig vor, wie die Ausbrüche der Vulkane beweisen, bei welchen die ausgestossenen Dämpfe die Lavatrümmer mehrere hundert Meter hoch emporschleudern.

Für die Wasserwirtschaft der Erde ist die Atmosphäre, welche die Erde umgibt und durchdringt, von der grössten Bedeutung, weil sie der Träger des Wasserdampfes ist und dieser mit der Luft deren Bahnen folgt und ihren Spannungs- und Temperaturveränderungen unterworfen ist.

Setzt man die Dichtigkeit der atmosphärischen Luft als Einheit, so ist die Dichtigkeit des darin enthaltenen Wasserdampfes = 0,62; und weil ferner, wenn B den Barometerstand, C die Spannung der Luft und C_1 die Spannung des darin enthaltenen Wasserdampfes in Millimetern bezeichnet, $C = B - C_1$ ist, so ist die Dichtigkeit der feuchten Luft $= D = \frac{B - C_1 + 0{,}62 \cdot C_1}{B}$

$$= 1 - 0{,}38\,\frac{C_1}{B}.$$

Daraus geht hervor, dass je grösser die relative Feuchtigkeit der Luft wird, desto mehr deren Dichte und Schwere abnimmt; feuchte Luft zeigt daher unter sonst gleichen Umständen einen niedrigeren Barometerstand als trockene Luft.

Die Atmosphäre ist durch die Erdoberfläche äusserlich in zwei Teile getrennt, die aber trotzdem in ununterbrochenem Zusammenhange stehen. Das über die Erdoberfläche in den Weltraum sich ausbreitende Luftmeer nenne ich oberirdische und die das Erdinnere erfüllende Luftmasse unterirdische Atmosphäre. Ich hebe ausdrücklich das Vorhandensein einer ausgedehnten, tief in die Erde dringenden unterirdischen Atmosphäre hervor, weil es in unsrer aufgeklärten Zeit noch Leute gibt, die eine Fortsetzung der Atmosphäre bis höchstens zur nächsten Grundwasserschicht unter der Oberfläche zugeben. Dieselben Leute finden es dagegen ganz selbstverständlich, dass das flüssige Wasser von der Erdoberfläche durch die Poren, Risse, Spalten und Klüfte der Bodenmassen des Erdinnern bis in grosse Tiefen hinabsinke, obwohl das flüssige Wasser eine 800 mal grössere Dichtigkeit besitzt als die Luft, diese also ebensovielmal weniger Widerstand beim Durchstreichen der Bodenschichten zu überwinden hat, als das Wasser. In Spalten und Klüften vermag das Wasser wohl bis zu einer wasserhaltenden Schicht abzusinken, aber in die Poren der Erdoberfläche kann das darauf niederfallende Wasser nie tief eindringen.

Die Dichtigkeit der Gesamtatmosphäre nimmt mit der Entfernung vom Erdmittelpunkte ab, und die Grenze dieser Atmosphäre im Erdinnern liegt in jener Tiefe, wo sie infolge des hohen Druckes nicht mehr gasförmig bleiben kann, sondern flüssig wird;

oberhalb der Erdoberfläche ist eine Grenze der Atmosphäre für uns nicht bestimmbar.

Die Sonne erwärmt die Erdoberfläche nur bis in ganz geringe Tiefe, denn überall auf der Erde findet man in einer Tiefe von 20—30 m unter der Oberfläche durch alle Jahreszeiten annähernd immer die gleiche Temperatur, nämlich die mittlere Jahrestemperatur der darüber liegenden Erdoberfläche. Diese neutrale Temperaturgrenze ergibt sich daraus, dass die auf die Erdoberfläche einwirkende Sonnenbestrahlung und die aus dem Erdinnern aufsteigende Erdwärme sich unter der Oberfläche begegnen und hier sich gegen einander ausgleichen, wobei die Ausstrahlung der Oberflächenwärme der Erde in den Weltraum mit zu berücksichtigen ist. Die Schwankungen der Oberflächentemperaturen in den verschiedenen Tages- und Jahreszeiten sind schon in geringer Tiefe wenig merkbar; schon in 2,0 m Tiefe unter der Oberfläche erhöht sich die mittlere Bodentemperatur kaum bis zur Hälfte der jeweiligen Lufttemperatur der Oberfläche. In kalten Ländern, wo die Lufttemperatur der Oberfläche den grössten Teil des Jahres unter dem Gefrierpunkte bleibt, übersteigt die Bodentemperatur, infolge der Erdwärme und der erschwerten Ausstrahlung in den Weltraum aus dem gefrornen Boden, die mittlere Jahrestemperatur der Oberfläche.

Die Schichten zwischen der Erdoberfläche und der neutralen Temperaturgrenze bezeichne ich als den „neutralen Untergrund“, welcher mehr oder weniger von der Temperatur der Aussenluft beeinflusst wird. Während eines milden und feuchten Winters sinkt die Bodentemperatur des Untergrundes, erhöht sich jedoch in trockenen Wintern. Kaltes Winterwetter mit dauernder Schneedecke verändert diese Bodentemperatur nur wenig, während abwechselndes Tau- und Frostwetter die Temperatur erniedrigt, was besonders für das Frühjahr gilt und für den Herbst. Ein regenarmer, heisser Sommer erhöht die Temperatur des neutralen Untergrundes nicht in gleichem Masse, wie ein regnerischer Sommer. Vom grössten Einfluss auf die eben erwähnte Temperatur ist der Feuchtigkeitsgehalt der Aussenluft, sowie die aus dem Erdinnern aufsteigende feuchtwarme Grundluft.

Mit der Entfernung über die Erdoberfläche nimmt die Lufttemperatur fortgesetzt ab und zwar für je 100 m über der Meeresfläche um 0,59° C.; dagegen nimmt die Temperatur mit der Tiefe unter der Erdoberfläche für je 100 m Tiefe um 3° C. zu. In derjenigen Höhe über der Erdoberfläche, wo die Lufttemperatur unter 0° C. sinkt, kann das Wasser nicht mehr flüssig bleiben und von der Luft nicht mehr getragen werden; es bildet dort Eiskrystalle, die zur Erde sinken. Die Höhe dieser Eis- oder Schneegrenze ist örtlich und nach der Jahreszeit verschieden.

Die Verschiedenheit der Temperatur und der Spannung der Luft je nach dem örtlichen Klima und der Höhe oder Tiefe in Bezug auf die Meeresfläche erzeugt eine beständige Bewegung der Luft, sowohl in der oberirdischen, als auch in der unterirdischen Atmosphäre nach allen Richtungen, die uns als Luftströme oder Winde bekannt sind. In der unterirdischen Atmosphäre finden die Luftströmungen den meisten Widerstand, weniger über der trockenen, festen Erdrinde, wo nur die Gebirgskämme sich ihnen entgegenstellen, aber ungehindert streichen sie über die freie Meeresfläche.

In der unterirdischen Atmosphäre erreicht die Luft in bestimmter Tiefe eine Temperatur, bei welcher die absolute Spannung des Wasserdampfes mit derjenigen der Luft gleich gross ist; in dieser Tiefe beginnt daher alles flüssige Wasser zu sieden und sich in Dampf zu verwandeln; die Lufttemperatur erfährt dabei so lange keine weitere Erhöhung, bis alles Wasser verdampft ist. Diese Tiefzone im Erdinnern bezeichne ich als Siedegrenze, über welche hinab im Erdinnern sich kein flüssiges Wasser mehr findet; die unterirdische Atmosphäre hat demnach auch eine Grenzzone wie die oberirdische Atmosphäre, jenseits welcher das Wasser in flüssigem Zustande nicht mehr bestehen kann, hier eine Eis-, dort eine Siedegrenze.

Die Eisgrenze liegt an den Polen in Meereshöhe, in den Tropen in einer Höhe von 4240 m; die Siedegrenze liegt in einer durchschnittlichen Tiefe von 3600 m unter der trockenen Erdoberfläche und 4000 m unter dem Meeresboden, wo die Bodentemperatur etwa 109°—127° C. beträgt; die Grenzfläche der Siedegrenze ist annähernd parallel der Erdoberfläche, während die

Begrenzungsfläche der Eisgrenze die Mantelfläche eines Ellipsoides darstellt.

Für den Halbmesser der Erde von 6376 km beträgt demnach der Inhalt:

	Kubikkilometer.
der Erdkugel	1085 758 669 744
der unterirdischen Atmosphäre	1 863 590 454
der oberirdischen „	1 544 525 612

Für die unterirdische Atmosphäre kann nur ein Teil des oben berechneten Rauminhaltes als lufterfüllt in Betracht kommen, und zwar nur ein Zehntel, so dass der Luftraum der unterirdischen Atmosphäre oberhalb der Siedegrenze 186 359 045 Kubikkilometer betragen würde, woraus sich ein Grössenverhältnis zur oberirdischen Atmosphäre wie 1:8,3 ergibt. In der unterirdischen Atmosphäre wiegt jedoch 1 cbm Luft durchschnittlich 1,25 kg, in der oberirdischen nur 1,14 kg, ferner ist das Gewicht des gesättigten Dampfes in der unterirdischen Atmosphäre durchschnittlich 0,4139 kg und in der oberirdischen nur 0,00935 kg. Daher verhält sich das Gesamtgewicht des gesättigten Wasserdampfes $\frac{\text{der unterirdischen Atmosphäre}}{\text{zur oberirdischen} \quad „}=\frac{6}{1}$, d. h. die unterirdische Atmosphäre vermag 6 mal so viel Dampf aufzunehmen als die oberirdische.

Die Luft ist über und in der Erde in unaufhörlicher Bewegung, und wenn auch durch die Erde nicht Stürme brausen, wie sie über der Erde hinwegfegen, so ist doch die Luftbewegung im Erdinnern für den Kreislauf des Wassers von grosser Bedeutung wegen des grossen Dampfgehaltes der unterirdischen Luft.

Die Befeuchturg der Luft erfolgt durch Verdunsten des flüssigen Wassers. Die von einer Wasser- oder Bodenfläche aufsteigende Dunstmenge wächst mit der Grösse der Fläche und mit dem Sättigungsbedürfnis der darüber befindlichen Luft; ist diese gesättigt, dann findet keine Verdunstung mehr statt. Starker Luftwechsel begünstigt die Verdunstung.

Die freie, luftberührte Wasserfläche entwickelt grössere Dunstmengen, als feuchter, aber unbepflanzter Boden, aber nicht so viel, als mit Pflanzen bedeckter, feuchter Boden.

Die jährlichen Temperaturschwankungen sind in der unterirdischen Atmosphäre gering gegen die der oberirdischen, wo sie in der Richtung vom Aequator nach den Polen an Grösse zunehmen und über der Meeresfläche geringer sind als über dem trockenen Lande, je weiter dies von der Küste liegt. Ueber dem Spiegel der grossen Weltmeere entsprechen daher die Veränderungen der Luftfeuchtigkeit mehr den Temperaturen der Meeresfläche, als dies in Bezug auf die Oberfläche des trockenen Landes der Fall ist. Der Unterschied zwischen grösster und kleinster Luftfeuchtigkeit ist an den Meeresküsten am geringsten, im Innern der Länder am grössten, er nimmt gegen die Tropen hin ab und mit der Entfernung von diesen zu.

Der Dunstgehalt der Luft wird um so geringer, je höher die Lage über dem Meere und um so grösser, je tiefer dieselbe unter dem Meere ist. Ueber der Meeresfläche beträgt die relative Feuchtigkeit der Luft immer 75—80%; über dem trockenen Lande wechselt diese mit der Jahreszeit; im Sommer ist sie wegen des grösseren Sättigungsvermögens der Luft geringer als im Winter, wogegen die absolute Dampfmenge in der Luft im Sommer grösser ist als im Winter. Man bezeichnet als:

sehr trocknes Klima,	wenn	die	relat.	Feuchtigkeit	unter	55%
mässig trocknes	„	„	„	„	„	50—70%
mässig feuchtes	„	„	„	„	„	71—86%
feuchtes	„	„	„	„	„	86—100%

beträgt.

Der englische Gelehrte Dalton hat folgende Gleichung aufgestellt zur Berechnung der Dunstmengen, welche von der freien, luftbewährten Wasserfläche aufsteigen:

$$V = 0{,}06 . a . F . (C_1 - C_2) \frac{760}{B} \text{ Kilogramm in 1 Stunde.}$$

F = Wasserfläche in Quadratmeter.
B = Barometerstand der Luft in Millimeter.

C_1 = grösste Dampfspannung bei der Temperatur des verdunstenden Wassers in Millimeter.

C_2 = Dampfspannung der über dem Wasser in der Luft schon vorhandenen Dämpfe in Millimeter.

a = Erfahrungszahl, welche für

ruhige Luft a = 0,55

mässig bewegte „ a = 0,71

stark „ „ a = 0,86 gefunden wurde.

Die mittels dieser Gleichung sich ergebenden Werte der Verdunstungshöhen stimmen mit den durch Beobachtung gefundenen ziemlich überein. Nach Mohns Lehrbuch der Meteorologie beträgt in Cumana, 10° nördl. Br. in Südamerika, die Jahresverdunstung 3520 mm; auf Madeira, 32½° nördl. Br., ist sie 2030 mm; in Sidney in Australien, 34° südl. Br., 1200 mm; in Holland 600 bis 800 mm, an den englischen Küsten 900 mm, in London 650 mm, an der Ostküste Schottlands 800 mm. Das Mittelmeer verdunstet jährlich 1200 mm, und Dalton berechnete die Verdunstungshöhe Englands zu 762 mm.

Schon aus diesen Verdunstungshöhen ergibt sich, dass im allgemeinen nur ein kleiner Teil der Niederschläge *in den Boden dringt*, indem diese um so mehr verdunsten, je *weniger* die Oberfläche bepflanzt ist, oder, wie im Walde, mit Moos und Streu bedeckt. Dalton berechnete die jährliche Verdunstung des den Boden befeuchtenden Niederschlagswassers zu 80% desselben; wenn man weiter berücksichtigt, dass von den Niederschlägen ein sehr beträchtlicher Teil wieder über die Bodenfläche ab- und den Flüssen zuläuft, so kann von den Niederschlägen unmöglich ein Teil durch die Poren des Bodens tiefer unter die Oberfläche gelangen. Ausser den Dunstmengen die von der behaupteten Erdoberfläche herrühren, werden *von allen Pflanzen* noch *grosse Dunstmengen*, die sie als zu ihrer Ernährung überflüssig ausstossen, in die Luft gesendet; um 1 kg Pflanzenstoff durch das Wachstum zu bilden, müssen von den oder der Pflanze 5—600 kg Wasserdunst ausgegeben werden, so dass z. B. von einem Getreidefelde in 4—5 Monaten etwa 4 Millionen kg Wasserdunst von 1 Hektar aufsteigen, was einer Verdunstungshöhe von

400 mm entspricht. Von hochgewachsenen Pflanzen, wie von einem Hopfen- oder Obstgarten, oder vom Walde, erhält man sogar 500 mm Verdunstungshöhe.

Bei Bäumen erstreckt sich die Wurzeltiefe bis zu 1,0 m unter Oberfläche, und bis zu dieser Tiefe dringt das Regenwasser nur bei sehr lange anhaltendem Regenfalle. Im gemässigten Klima ist überhaupt die für das Pflanzenwachstum verbrauchte Wassermenge erheblich grösser als die in der Zeit des Wachstums sich ergebenden Niederschläge liefern, abgesehen davon, dass der grösste Teil dieser Niederschläge sofort verdunstet oder über die Oberfläche den Gewässern zuläuft. Die Wassermengen für die Pflanzenernährung müssen deshalb fast gänzlich der unterirdischen Bodenfeuchtigkeit entnommen werden, die von den unterirdischen Niederschlägen herrühren.

Für Deutschland kann man mit Rücksicht auf dessen Waldbestand und Ackerbau das Verhältnis der jährlichen Verdunstungshöhe zur Niederschlagshöhe in folgender Weise annehmen:

1. Für unmittelbare Verdunstung des vom Regen durchnässten Bodens, sowie von der freien Wasserfläche der Bäche, Flüsse und Landseen durchschnittlich 80 %.
2. Der Wasserbedarf für das Planzenwachstum ist durchschnittlich zu 450 mm Niederschlagshöhe zu schätzen, und daraus ergibt sich, weil Deutschland 750 mm durchschnittliche jährliche Niederschläge hat, ein Procentsatz für den Pflanzenverbrauch von 60 % der Niederschlagshöhe, aber mit Rücksicht darauf, dass nicht die ganze Bodenfläche bepflanzt ist, sollen nur 40 % gerechnet werden.
3. Die Wasserdämpfe, welche von Niederschlägen in der unterirdischen Atmosphäre innerhalb des neutralen Untergrundes herrühren und über die Erdoberfläche aufsteigen, mit 10 % der Jahresniederschläge.

Danach ist die Gesamtverdunstungshöhe gleich 130 % der durchschnittlichen jährlichen Niederschlagshöhe.

Die über die Erdoberfläche aufsteigenden Dünste sind mehr

oder weniger genau messbar, während die Dunstmassen der unterirdischen Atmosphäre uns zur Messung nicht zugänglich sind; wir müssen uns bezüglich dieser mit Folgerungen aus dem Zusammenhange aller wasserwirtschaftlichen Vorgänge begnügen. Die Bestimmung dieser Dampfmengen ist übrigens für die Wirtschaftsrechnung des Wasserkreislaufes nicht erforderlich, weil die aus dem Untergrunde über die Erdoberfläche aufsteigenden Dünste mit den oberirdischen Dunstmengen berücksichtigt werden, und die im Erdinnern verbleibenden Dämpfe nur als Niederschläge aus der unterirdischen Atmosphäre in Betracht kommen.

Dicht mit Pflanzen bestandener, mit Moos und Streu bedeckter Boden, wie der Waldboden, wirkt als Feuchtigkeitsregler in grossem Massstabe, indem er sowohl die Verdunstung der oberirdischen, als auch die der unterirdischen Niederschläge verlangsamt. Sowohl der Boden als die durch und über den Wald streichende Luft zeigen selten grosse Trockenheit, dagegen gewöhnlich eine mässige relative Feuchtigkeit.

Das Gegenteil findet für Landstrecken statt, die wenig oder gar keinen Pflanzenwuchs haben, indem hier die Dämpfe der Grundluft leicht über die Oberfläche steigen, so wie auch die Niederschlagswasser rasch verdunsten.

In der Wüste Sahara verdunstet ein Regenfall von 50 mm Höhe bei mässigem Winde und 80 % relativer Luftfeuchtigkeit schon in 24 Stunden; er hat also nicht Zeit, die Erdoberfläche auch nur einige Centimeter tief zu befeuchten. Die über den Wüstenboden aufsteigenden Dünste, aus der Grundluft oder von Niederschlägen herrührend, erheben sich bis zu grosser Höhe in die warme, trockne Luft; bevor sie hier den Taupunkt erreichen, werden sie von den Winden weit fortgetragen, und ihre Niederschläge benetzen den Boden entfernter Länder. Die Ausströmung der Grundluft über den Wüstenboden hat andererseits den Einzug von trockner Aussenluft in den Untergrund im Gefolge, wo sie sich zunächst zu sättigen sucht und dadurch auch den Boden unter der Oberfläche austrocknet, so dass jeder Pflanzenwuchs unmöglich wird.

Die Verdunstung geht auch dann rascher vor sich, wenn der

Luftdruck über der Verdunstungsfläche abnimmt; auf hohen Bergen trocknet deshalb feuchter Boden rascher ab, als in den Thälern.

Mit dem Wachsen der Sommerwärme erhöhen sich die Verdunstungen in dem feuchten, neutralen Untergrunde, und in gleichem Masse nehmen sie mit wachsender Winterkälte ab, d. h. im Sommer wird der Untergrund immer trockener, im Winter fortgesetzt feuchter. Befindet sich im neutralen Untergrunde eine Ansammlung flüssigen Wassers, so ist dessen Verdunstung um so geringer, je grösser der Abstand des Grundwasserspiegels von der Oberfläche ist.

Für die verschiedenen Temperaturzonen der Erde lässt sich die Verdunstung der Meeresfläche nach der Gleichung von Dalton annähernd berechnen.

Innerhalb der beiden Wendekreise ist die mittlere Jahrestemperatur 25° C.; von 23½—40 Grad nördlicher und südlicher Breite ist diese 20° C.; von 40—50 Grad Breite nur 12,5° C.; von 50—60 Grad Breite noch 5° C. und von 60 bis zum 66½ Breitengrade (Polarkreis) 2,5° C. und endlich vom Polarkreise bis zu den beiden Polen nur — 2° C.

Für durchschnittlich stark bewegte Seeluft, sowie 75% relative Feuchtigkeit der Seeluft über dem Wasserspiegel erhält man folgende Gleichung:

$V = 0{,}06 . 0{,}86 (C_1 — C_2)$ Kilogramm von 1 Quadratmeter in 1 Stunde.

Danach erhält für die mittleren Jahrestemperaturen von

	+25°,	+20°	+12°,	+5°,	+2,5,	—2°
Jahresverdunstung Höhe in mm	2433,	1965,	1221,	738,	621,	452.

Die Verdunstungshöhen von der freien Wasserfläche des trockenen Landes (Flüsse u. dgl.) sind besonders in den heissen Ländern beträchtlich grösser, als die Höhen der Verdunstung der in gleichem Himmelsstriche gelegenen Meere, weil über dem stark erwärmten Lande die Luft eine viel geringere relative Feuchtigkeit besitzt als über dem Meere. In der gemässigten Zone nähert sich die Grösse der relativen Feuchtigkeit

über dem Festlande derjenigen über dem Meere, und ebenso verhalten sich deren Verdunstungshöhen.

Man hält gewöhnlich die uns sicht- und fühlbaren Niederschläge bezüglich der Wasserlieferung für viel bedeutender als die Verdunstung, indem man dabei übersieht, dass die Verdunstungen überall und ununterbrochen vor sich gehen, zu jeder Jahres- und Tageszeit, unter allen Witterungsverhältnissen, während die Niederschläge in ihren verschiedenen Formen nur zeitweise und oft mit lange dauernden Unterbrechungen erfolgen. Ein Regenfall von 25 mm Höhe, ein kräftiger Landregen würde durch blosse Verdunstung bei 15° C. Temperatur und 65 % relativer Feuchtigkeit in 5 Tagen wieder in die Atmosphäre übergeführt, wenn nicht schon ein grosser Teil sofort den Bächen und Flüssen zuströmen würde.

Nach der bisher noch üblichen Dreiteilung der Niederschlagswasser ($^1/_3$ verdunstet, $^1/_3$ versickert in den Boden und $^1/_3$ läuft über die Oberfläche den Flüssen zu) entfällt auf die Verdunstung $^1/_3$ derselben, für Deutschland demnach $\frac{750}{3} = 250$ mm Verdunstungshöhe; die Pflanzen allein hauchen aber schon mehr Wasserdunst als überschüssig aus, den sie also doch vorher irgendwoher erhalten haben. Entweder müsste also das Pflanzenwasser anderer Herkunft sein als von den oberirdischen Niederschlägen, oder die Verdunstung wäre gleich null; ausserdem ist zu beachten, dass im Walde und überhaupt bei dichtem Pflanzenstande ein grosser Teil der Niederschläge den Boden ohnehin nicht erreicht. Ausser den oberirdischen Niederschlägen müssen noch unterirdische Niederschläge vorhanden sein, um die Erde für die von ihr ausgehenden Dunstmengen zu befeuchten.

Die atmosphärischen Niederschläge erfolgen in folgenden Formen:

Der Tau entsteht, wenn die erwärmte Erdoberfläche nach Sonnenuntergang einem unbewölkten Himmel sich gegenüber befindet und daher durch unbehinderte Wärmeausstrahlung sich stark abkühlt, während die über der Erdoberfläche befindliche Luftschicht durch Ausstrahlung viel langsamer ihre Wärme verliert. Die kältere

Erdoberfläche kühlt daher die sie unmittelbar berührende Luftschicht ab, und wenn dies bis unter den Taupunkt geschieht, so scheiden die überflüssigen Dämpfe als flüssiges Wasser aus, welches in unzähligen feinen Wassertropfen auf der Oberfläche als Tau erscheint.

Ueber einer mit Pflanzenwuchs bestandenen Fläche ist schon durch die Pflanzenausdünstung die Luft stärker befeuchtet, weshalb auch die Betauung hier eine stärkere ist. Je höher der Boden durch die Sonne erwärmt war und je kühler die darauf folgende Nacht ist, d. h. je heiterer der Nachthimmel und je grösser die relative Feuchtigkeit der unteren Luftschicht, desto bedeutender ist die Betauung, welche ferner noch durch möglichst geringe Luftbewegung gefördert wird. In den Tropen sind daher die Tauniederschläge am stärksten; in regenarmen Landstrichen ist der aus der unter- und oberirdischen Atmosphäre niedergeschlagene Tau, der auch den Boden in der Wurzeltiefe befeuchtet, die Ursache, dass dort überhaupt Pflanzen gedeihen können.

Fällt die Temperatur über der Bodenfläche durch die Wärmeausstrahlung während der Nacht bis einige Grad unter Null, so gefriert der Tau und wird dann „Reif“ genannt.

Bleibt der Tau wegen geringer Anhäufung in der Luft schwebend, so bezeichnet man ihn als „Nebel“. Werden nicht nur die unteren Luftschichten nächst der Erdoberfläche, sondern auch die darüber befindlichen abgekühlt, so entsteht dadurch auch Nebel, d. h. in der Luft schwebendes, flüssiges Wasser. Nebel entsteht auch, wenn die Oberfläche eines Gewässers wärmer ist, als die darüber befindliche Luft; die aufsteigenden Wasserdämpfe sättigen zunächst die unteren Luftschichten, worauf die anderen Dämpfe zu Nebel verdichtet werden. Nebel können auch in der unterirdischen Atmosphäre in jeder Tiefe entstehen, da hier ebenfalls die Mischungen kalter und warmer („kalt“ und „warm“ bezieht sich hier auf einen gewissen Temperaturunterschied) Luftströme zusammentreffen, wobei deren Taupunkt durch Abkühlung unterschritten wird.

Nebel in grosser Höhe über der Erdoberfläche erscheinen uns als Wolken, welche verschiedene Gestaltung annehmen.

Man unterscheidet Feder-, Haufen- und Schichtwolken und als internationale Bezeichnungen gelten folgende:

Cirrus (Ci), Cirro-Stratus (Ci—S), Cirro-Cumulus (Ci—Cu), diese sind die sogenannten Schäfchenwolken; dann Alto-Cumulus (A—Cu), Alto-Stratus (A—S), Strato-Cumulus (S—Cu), Nimbus (N) oder Regenwolke, Cumulus (Cu) oder Haufenwolke, Cumulus-Nimbus (Cu—N) oder Gewitterwolke, Stratus (S) oder gehobener Nebel.

Verdichtet sich der Nebel so weit, dass er von der Luft nicht mehr getragen werden kann, so bilden sich zunächst kleine Wassertropfen, die als Regen zur Erde fallen; diese Tropfen sind anfänglich sehr klein, werden aber während des Fallens durch die neblige, feuchte Luft infolge Anschlusses anderer Tropfen immer grösser. Aus diesem Grunde haben die bei schwüler Gewitterluft auf die Oberfläche fallenden ersten Regentropfen meist eine ungewöhnliche Grösse, in unserem Klima 4—6 mm, die jedoch in dem Masse wieder abnimmt, als sich die Luft während der Dauer des Regenfalles abkühlt. In den Tropen, wo die Atmosphäre in den unteren Schichten eine hohe Temperatur und hohe relative Feuchtigkeit hat, fallen Regentropfen von 20—25 mm Durchmesser.

Nach der Höhe, in welcher die Wolken über der Erdoberfläche schweben, unterscheidet man:

Obere Wolken in einer durchschnittlichen Höhe von 9000 m über dem Meere.

Mittelhohe Wolken mit einer Höhe von 3000—7000 m.

Untere Wolken unter 3000 m Höhe.

Wolken der unteren Luftströmungen mit einer Meereshöhe von 1400—1800 m.

Gehobener Nebel unter 1000 m Meereshöhe.

Cirruswolken, die man bis zu einer Höhe von 16 000 m beobachtet hat, bestehen aus Eiskrystallen, wie auch in den untern Luftschichten durch Sinken der Lufttemperatur unter Null die Niederschläge nicht flüssig als Regen, sondern gefroren, als Schnee oder Hagel die Erdoberfläche erreichen.

Da in der unterirdischen Atmosphäre die Nebel-

bildungen nicht dem mannigfaltigen Wechsel unterworfen sind wie in der oberirdischen Atmosphäre, auch sich nicht so rasch vollziehen wie in dieser, so sind sie dagegen infolge der hohen Lufttemperaturen der unterirdischen Atmosphäre viel wasserreicher als die oberirdischen, und ebenso sind die daraus erfolgenden Niederschläge im Erdinnern viel ausgiebiger als die auf die Erdoberfläche fallenden.

Von den Niederschlägen sind nur die oberirdischen messbar, welche mit der örtlichen mittleren Jahrestemperatur zu- und abnehmen. Die durchschnittlichen Jahresniederschläge sind in den Tropen am grössten und verhältnismässig kleiner, je mehr man sich den Polen nähert.

Die Niederschläge auf die Meeresfläche zeigen eine ziemlich regelmässige Verteilung innerhalb der Grenzen gleicher Jahrestemperaturen, sind aber doch wesentlich beeinflusst durch die über die Meere streichenden Luftströme und durch die Nähe des Landes.

Auf dem Lande werden die Niederschläge ebenfalls durch die herrschenden Winde stark beeinflusst; warme, feuchte Seewinde bringen dem Lande reichliche Niederschläge, die sich mit der Entfernung von der Küste vermindern. Trockene, kühle Landwinde können selbst dann, wenn sie über wärmere Länderstrecken streichen, keine wasserreichen Niederschläge verursachen, weil sie schon zur ihrer Sättigung einen grossen Teil des Wasserdampfes binden.

Gebirgszüge, deren Kammlinie nahezu senkrecht zur herrschenden Richtung warmer Winde steht, sind von grossem Einflusse auf den Verlauf der Niederschläge. Die feuchtwarmen Winde kühlen sich an den Gebirgshängen, welche der Windrichtung zugekehrt sind, ab, und daher fallen hier die ersten Niederschläge.

Die der Windrichtung abgewendeten Gebirgshänge erhalten infolgedessen weniger starke Niederschläge. Ist das Gebirge sehr hoch, so dass die feuchtwarmen Winde an der Wetterseite desselben aufsteigen und die Luft hier allmählich ihre Feuchtigkeit, Wärme und Spannung vermindert, so können diese Luftströme nach dem Ueberschreiten des Gebirgskammes an den hinter dem Winde liegenden Abhängen mit nur noch geringer Feuchtigkeit

anlangen, und da sie beim Hinabgleiten an diesen Abhängen ihre Temperatur und ihre Spannung wieder erhöhen, so wird dadurch ihre relative Feuchtigkeit immer geringer. Niederschläge können solche trockene, warme Luftströme, die man Föhnwinde nennt, nicht veranlassen.

Hochgebirge sind wegen der grösseren Abkühlung, welche ihre oberen Gebiete in warmen Luftschichten veranlassen, niederschlagsreicher als Mittelgebirge, und diese erhalten mehr Niederschlagswasser als die Tiefebenen bei fast gleichen klimatischen Verhältnissen.

Landstrecken mit ausgedehnten Waldungen und stark bepflanztem Ackerland zeigen grössere und gleichmässigere Niederschläge als solche Länder, deren Bodenfläche nur wenig bepflanzt ist. Die ständiger Sonnenbestrahlung ausgesetzten Berghänge werden durch dichten Waldbestand vor völliger Austrocknung geschützt, während die im Schatten liegenden Berghänge durch solchen Waldbestand Schutz gegen Frost finden.

Im Laubwalde erreichen nur $^2/_3$ der Regen, im Nadelwalde nur $^1/_3$ den Boden, während der übrige Teil von den Blättern und Zweigen wieder verdunstet, ohne zum Boden zu gelangen; aber auch das Unterholz, Gesträuche, Gras, Moos und Streu halten die Niederschläge vom Boden zurück, so dass nur ein lange anhaltender Regen den Boden selbst benetzen kann. Der Moosrasen kann eine Wassermenge von 10—15 mm Niederschlagshöhe wie ein Schwamm aufsaugen und zurückhalten; die Laubstreu kann auf 100 kg Streu im lufttrockenen Zustande 200—250 kg Wasser zurückhalten, und sie wird bei vorgeschrittener Fäulnis sogar undurchlässig, so dass alles Niederschlagswasser über ihre Oberfläche abläuft.

Schneefälle bleiben häufig längere Zeit auf der Erdoberfläche lagern, bis sie teils verdunstet, teils zerschmolzen und verlaufen sind. Je länger diese Bewegung dauert, desto grösser ist die vom Schnee ausgehende Befeuchtung der Luft und des Bodens.

Für einen unter gleichen klimatischen Einflüssen stehenden Landstrich wächst die jährliche Niederschlagsmenge mit Zunahme

der Meereshöhe eines Ortes; dagegen nimmt die Regenmenge für ein und denselben Ort mit der Höhe über diesem ab.

Der Vorgang der Niederschläge gestaltet sich im Bereiche des neutralen Untergrundes anders als im Erdinnern unterhalb der neutralen Temperaturgrenze, weil der neutrale Untergrund noch wesentlich von den Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen, die über der Erdoberfläche vorhanden sind, beeinflusst ist.

Erhebt sich die Temperatur der Aussenluft über die mittlere örtliche Jahrestemperatur, so erwärmt sich der Untergrund von oben nach unten; sinkt die Aussentemperatur unter das Jahresmittel, so kühlt sich der Untergrund von oben nach unten ab; diese Erwärmung und Abkühlung erstreckt sich mehr oder weniger nahe bis zur neutralen Temperaturgrenze, erreicht dieselbe jedoch nie. Die Ausbreitung der Aussentemperatur in dem Untergrunde ist demnach eine begrenzte, während der Luftverkehr von aussen nach dem Erdinnern keine Beschränkung durch die neutrale Temperaturgrenze erleidet und mit der Luft auch die von ihr getragenen Dämpfe ebenfalls von der unterirdischen in die oberirdische auf- und absteigen können. Nur streckenweise, wie in Thalniederungen und Tiefebenen, wo der neutrale Untergrund der Träger ausgedehnter Grundwasseransammlungen ist, wird die Verbindung zwischen ober- und unterirdischer Atmosphäre unterbrochen. Ueber den Umfangsrand dieser Grundwasserbecken hinaus steht jedoch die unter der Sohle des Beckens befindliche Grundluft sowohl mit der Aussenluft, als auch der benachbarten Grundluft in Verbindung.

Zwischen der Aussenluft und der Grundluft findet ein beständiger Austausch statt, einerlei, ob die Aussentemperatur höher oder niedriger als die durchschnittliche Jahrestemperatur ist. Ist sie höher, so erwärmt sich die Grundluft an der Oberfläche und steigt daher über dieselbe; ist sie niedriger, so kühlt sich die wärmere Grundluft an der Oberfläche ab und sinkt abwärts, die Aussenluft in den Untergrund nach sich ziehend. Die Grundluft unterhalb und bis zur neutralen Temperaturgrenze ist immer mit Wasserdampf gesättigt, wenn sie in aufsteigender Richtung, aus dem Erdinnern nach der Oberfläche, sich bewegt. Steigt nun solche Grundluft im Untergrunde weiter aufwärts, wieder

mehr und mehr ihre Temperatur erhöhend, so unterschreitet sie ihren Taupunkt und sucht sich aus der Feuchtigkeit im Untergrunde zu sättigen, d. h. sie trocknet den Untergrund aus; gelangt sie weiter über die Oberfläche in die noch wärmere Aussenluft, so vermindert sich nicht nur ihre eigene relative Feuchtigkeit, sondern auch diejenige der Aussenluft. Ist aber die Aussenluft durch Wärmeausstrahlung zur Nachtzeit stark abgekühlt, während die Erdoberfläche noch viel Sonnenwärme aufgespeichert enthält, so überschreitet die über die Oberfläche aufsteigende Grundluft ihren Taupunkt, und die Folge davon sind Niederschläge in Form von Tau und Nebel oder Wolken. Es erfolgt in diesem Falle ein oberirdischer Niederschlag aus der Grundluft.

Nach dem für die Gase geltenden Gesetze der Diffusion findet neben der aufsteigenden Bewegung der Grundluft gleichzeitig eine absteigende Bewegung der Aussenluft in den Untergrund statt, und da im erwähnten Falle die Aussenluft wärmer als die Grundluft ist, so unterschreitet die Aussenluft unter Umständen hier ihren Taupunkt und verursacht dadurch Niederschläge im Untergrunde.

Tritt der Fall ein, dass die Aussenluft eine niedrigere Temperatur hat als die mittlere Jahrestemperatur, so sinkt sie in den Untergrund, erwärmt sich hier und vermindert gleichzeitig dadurch ihre relative Feuchtigkeit, während sie andrerseits die Grundluft abkühlt und unter Umständen Niederschläge aus dieser im Untergrunde veranlasst. Gleichzeitig findet auch eine Aufwärtsbewegung der warmen Grundluft in die kühle Aussenluft statt, wodurch hier Niederschläge veranlasst werden können.

Es können also sowohl Niederschläge aus der in die Aussenluft aufsteigenden Grundluft als auch aus der in den neutralen Untergrund gelangenden Aussenluft entstehen, beziehungsweise durch diese veranlasst werden.

Dieser Austausch der Grundluft gegen Aussenluft und umgekehrt ist ein ununterbrochener, je nach den Temperaturverhältnissen mehr oder weniger rascher, und erstreckt sich über die ganze Oberfläche des trockenen Landes.

Die in der oberirdischen Atmosphäre entstehenden Niederschläge

können durch Messung in ihrer Grösse bestimmt werden; aber die im Untergrunde sich ergebenden Niederschläge können in dieser Beziehung nicht bestimmt werden. Die Niederschläge innerhalb des neutralen Untergrundes fallen um so grösser aus, je tiefer die neutrale Temperaturgrenze, oder ein darüber stehender Grundwasserspiegel unter der Erdoberfläche sich befindet und je mehr Hohlräume der Boden des Untergrundes enthält; ferner je grösser die relative Feuchtigkeit der Aussenluft ist und je grösser die Temperaturunterschiede sind.

Die Niederschläge im Untergrunde werden teils von den Wurzeln der Pflanzen, welche, wie oben schon erwähnt, sehr viel Wasser bedürfen, aufgesaugt, teils dienen sie wieder zur Sättigung warmer Luftströme, und der flüssig bleibende Rest dient zur Speisung der Grundwasser.

Eine schneebedeckte Erdoberfläche erschwert den Austausch von Grund- und Aussenluft sehr erheblich und wird die Lufttemperatur beim Durchgange durch den Schnee dessen Temperatur genähert. Der Luftwechsel durch den Schnee verursacht Niederschläge aus der warmen Grundluft, welche ebenfalls gefrieren, solange die Aussentemperatur unter Null bleibt, wodurch der Schnee immer dichter und schliesslich für die Luft undurchlässig wird. In diesem Falle gibt dann die Grundluft an die Schneedecke Wärme ab, taut diese also von unten auf und befeuchtet damit, sowie mit dem durch die Abkühlung der Grundluft freiwerdenden Wasserdampfe den Untergrund. Die abgekühlte Grundluft sinkt wieder abwärts und gibt der wärmeren aufsteigenden Grundluft Raum zur Ausbreitung unter der Schneedecke, wo der Vorgang des Auftauens und Befeuchtens sich wiederholt. In sehr kalten Ländern, wo die mittlere Jahrestemperatur unter Null ist, gefriert auch das Tau- und Niederschlagswasser unter der Oberfläche auf mehr oder weniger Tiefe, bis auch hier ein Gleichgewichtszustand in dem Kampfe der Erdwärme gegen die Abkühlung durch Ausstrahlung eintritt und der Boden nicht weiter gefriert.

In Deutschland ist die mittlere Jahrestemperatur etwa $8^1/_2{}^0$ C., man findet daher im allgemeinen schon in einer Tiefe von

mehreren Metern sowohl im Winter als im Sommer die Bodenwärme mit 8—10° C.

Unterhalb der neutralen Temperaturgrenze gegen den Mittelpunkt der Erde finden ebenfalls beständig Niederschläge aus der Grundluft statt. Im allgemeinen hat die Grundluft hier die Neigung, von unten nach oben zu steigen, da ihre Spannung mit der Tiefe beträchtlich zunimmt; andrerseits nimmt aber auch die Temperatur der Luft mit der Tiefe zu, und dadurch wird ihre Dichtigkeit und Schwere geringer, wodurch die Luft das Bestreben erhält, von oben nach unten zu sinken; in der oberirdischen Atmosphäre ist ebenfalls das wechselseitige Bestreben des Auf- und Absteigens der Luft vorhanden.

Die aufsteigende Grundluft führt der neutralen Zone fortgesetzt Wärme aus dem Erdinnern zu. Der Einfluss der Wärmezu- und -abnahme beim Ab- und Aufsteigen der Grundluft auf das Sättigungsvermögen derselben ist ein viel grösserer, als derjenige, der hierbei stattfindenden Druckzu- und -abnahme, welcher jenem entgegengesetzt wirkt. Bei dem Absinken der Grundluft von der neutralen Zone abwärts findet daher infolge der Temperaturerhöhung trotz der Erhöhung der Luftspannung eine Erhöhung des Sättigungsvermögens der Luft statt; die Luft wird also bei dem Absinken immer trockener, wenn sie nicht genügend Feuchtigkeit findet, um sich zu sättigen. Bei dem Aufsteigen der Grundluft von innen gegen die neutrale Zone, verringert sich infolge der Temperaturabnahme das Sättigungsvermögen der Luft, weshalb die aufsteigende Grundluft unterhalb der neutralen Zone immer von Niederschlägen begleitet ist und immer gesättigt bleibt, solange sie im Aufsteigen begriffen ist. Da bei dem Absinken der Luft nicht immer und überall die Luft sich zu sättigen vermag, während beim Aufstiege derselben immer und überall Niederschläge stattfinden, so muss die aus den Niederschlägen der Grundluft sich ergebende Wassermenge diejenige, welche zur Befeuchtung der absinkenden Grundluft verbraucht wird, übersteigen. — Der Ueberschuss an Niederschlagswasser findet auch im Innern der Erde durch deren Risse und Spalten Abfluss zu grösseren Hohlräumen, welche als Sammelbecken der Grundwasser dienen und entweder natürlichen

Ablauf nach der Erdoberfläche durch vorhandene Spalten haben, oder künstlichen Abfluss durch Erbohrungen. Ersetzt wird dieser Abfluss der Wasser aus dem Erdinnern, soweit diese aus unterirdischen Niederschlägen herrühren, durch Zuflüsse, welche das Meer oder auch Landgewässer in das Erdinnere senden und welche hier verdampfend, mit der Grundluft aufsteigen.

Das in den Bergwerken an den Stollen- und Schachtwänden herabrieselnde Wasser ist kein von der Erdoberfläche eingedrungenes Sickerwasser, sondern das Niederschlagswasser aus der Grundluft, welches aus den Gesteinsspalten zusammenläuft, geradeso wie auch das Schwitzwasser auf den Kellerwänden kein Sickerwasser ist.

Der Vorgang unterirdischer Niederschläge ist unbestreitbar; bezüglich ihrer Grösse, welche die bisher üblichen Ansichten darüber weit übertrifft, genügt, daran zu erinnern, dass das Sättigungsvermögen der Grundluft und also auch die Niederschläge bei Ueberschreitung des Taupunktes viel grössere sind als die der Luft der oberirdischen Atmosphäre, und dass die Thätigkeit des Auf- und Absteigens der Luft im Erdinnern eine stetige, ziemlich gleichmässige, nicht wechselnde und zeitweise unterbrochene ist, wie diejenige der oberirdischen Atmosphäre, welche unter dem Einflusse des Klimas steht; nur die Vorgänge des Niederschlages in der neutralen Zone sind auch vom Klima beeinflusst.

Ferner erhält man Aufschluss über die Grösse der unterirdischen Niederschläge, wenn man sich über die wirklich in den Untergrund gelangenden Niederschlagswasser der oberirdischen Atmosphäre Rechenschaft gibt.

Schon vor 200 Jahren hat de la Hire darauf hingewiesen, dass es Brunnen gebe, die immer denselben Wasserstand haben, und auch solche, die gerade in der Regenzeit ihr Wasser verlieren und in der trockenen Zeit sich mit Wasser füllen, wie auf der Insel Malorka und Sicilien. Auch gibt es Brunnen und Quellen auf den Gipfeln von Bergen, deren Schichten mit denjenigen höherer Berge nicht in Zusammenhang stehen, und wo ferner ein einigermassen erheblicher Zufluss durch Sickerwasser von der Oberfläche der Umgebung ausgeschlossen ist; trotzdem liefern diese Brunnen zu jeder Jahreszeit reichlich Wasser.

De la Hire grub eine 4 Quadratfuss grosse Metallschale mit horizontaler Bodenfläche 2,5 m tief in die Erde und verband jene Schale durch eine Blechröhre mit einem nahe gelegenen Keller; nach 15jähriger Beobachtung hatte dieser Messer der Sickerwasser nicht einen einzigen Tropfen Wasser geliefert.

Durch weitere Versuche fand de la Hire, dass die atmosphärischen Niederschläge kaum 0,60 m tief in den Boden dringen, wo sie auch der raschen Verdunstung durch die Bodenwärme ausgesetzt sind, wenn nicht eine Pflanzendecke sie schützt. De la Hire beobachtete ferner, dass der Pflanzenwuchs unmittelbar über seiner obenerwähnten Messschale nicht recht gedieh, weil durch diese Schale der von unten aufsteigenden Feuchtigkeit der Weg zu den Wurzeln versperrt war.

Auf dem Berge Oaniloost in Slavonien hat man in einem Steinbruche bei 3,0 m tiefer Aufdeckung plötzlich aus allen Spalten und Ritzen Wasserdämpfe hervordringen sehen, und diese Erscheinung hat 13 Tage angehalten. Schon am zweiten Tage nach dieser Aufdeckung des Steinbruches haben die am betreffenden Berge vorhandenen Quellen aufgehört, Wasser zu liefern.

In der Nähe von Paris befand sich früher eine Mühle, die einmal plötzlich an Wassermangel litt, und bei dem Nachforschen fand man, dass nicht weit von der Quelle des Mühlbaches ein Steinbruch eröffnet worden war, wobei eine gewaltige Dampfmenge aus dem Erdinnern hervordrang. Nachdem der Steinbruch wieder zugeworfen war, floss die Mühlquelle wieder so reichlich wie früher.

Oben auf der Spitze des Brockens behalten der sogenannte Hexenbau und das Moorlager immer ihr Wasser, ohne dass höher gelegene Gebirgsschichten ihnen Wasser zuführen könnten.

Dasselbe gilt von den berühmten Quellen des 600 m hohen Tafelberges bei Kapstadt.

Man kennt viele Inseln, auf denen gar keine Quellen und sichtbaren Wasserläufe vorhanden sind, und welche dennoch des üppigsten Pflanzenwuchses sich erfreuen, der seinen Wasserbedarf also nur durch die mit der Grundluft aufsteigenden Dämpfe befriedigen kann.

Dr. Volger, ein hervorragender Geologe und Bergmann, konnte

nicht mehr als 0,60 m tiefes Eindringen des Niederschlagswassers in den Sandboden nachweisen, obgleich das Wasser über dem Sandboden eine Reihe von Monaten gestanden hatte.

Schon der alte Seneca behauptete, dass der stärkste Regen nicht im stande ist, mehr als 3,0 m in den Boden zu dringen.

Amtmann Gropp in Westfalen hat, wie de la Hire, Gefässe in den Boden gegraben und sich überzeugt, dass auf dem Sickerwege selbst nach dem stärksten Regen es nicht möglich sei, eine einzige Flasche Wasser zu erhalten. —

Drainageröhren, nur mehrere Fuss tief in den Boden verlegt und wieder überdeckt, liefern nach einem Regen kein Wasser; legt man drei Drainageröhren übereinander in verschiedener Tiefe unter der Oberfläche, so findet man nach einem Regen gelegentlich in dem untersten Rohre fliessendes Wasser, in dem mittleren nur wenig und im obersten Rohre gar kein Wasser, woraus hervorgeht, dass wohl von unten Wasser in die Röhren gelangen kann, aber nicht von oben.

Aus den Versuchen des Professors Schübler in Tübingen geht hervor, dass die Verdunstung des Wassers auf der Erdoberfläche ein weit grösseres Mass hat als die gesammte oberirdische Niederschlagsmenge; d. h. die Niederschlagsmenge verdunstet nicht nur grösstenteils wieder, sondern es müssen auch noch aus dem Untergrunde grosse Dampfmengen in die oberirdische Atmosphäre aufsteigen, um der Pflanzenernährung zu dienen und die oberirdische Atmosphäre zu befeuchten.

Wenn der Boden der Erdoberfläche in der Weise wasserdurchlässig wäre, dass die darauf fallenden Niederschläge mit $^1/_3$ ihrer Gesamtmenge bis zu den Tiefen der in der Erde vorhandenen Grundwasser versickern könnten, so müssten unsere Flüsse und Ströme versiechen, bevor sie ihre Ausmündung ins Meer erreichen, die Landseen und sogar die Meere müssten vertrocknen. Aber die Durchlässigkeit der Erdoberfläche ist nur stellenweise in Rissen, Spalten und Klüften vorhanden, welche sich aus dem Erdinnern bis zur Oberfläche erstrecken; derartige offene Stellen der Erdrinde kommen aber nicht nur auf dem trockenen Lande, sondern auch auf dem Grunde der Flüsse, Seen

und Meere vor. Das Wasser von Bächen und Flüssen verschwindet unter der Oberfläche, um an andern entfernten Orten wieder an den Tag zu treten; fast alle heute noch thätigen Vulkane sind in der Nähe der Meeresküste gelegen und geben durch die von ihnen ausgeworfenen Dampf- und Schlammmassen Zeugnis von den Wassermengen, welche ihnen unterirdisch zugeführt werden.

Was von den oberirdischen Niederschlägen durch zu Tag gehende Spalten und Klüfte unter die Oberfläche versinkt und unterirdisch seinen weiteren Verlauf nimmt, bis es durch andere Spalten wieder an die Oberfläche gelangt, zähle ich nicht zu den Sickerwassern, sondern zu den Oberflächen-Abflüssen der Niederschläge, deren Verlauf streckenweise ein unterirdischer ist. Das Vorkommen derartige Abflüsse beschränkt sich auf Oertlichkeiten, wo die Gesteine, welche die Erdrinde zusammensetzen, stark zerklüftet und durch Auswaschungen und Erderschütterungen, verbunden mit Einstürzen, ausgehöhlt sind.

Für eine eingehende Begründung meiner Behauptungen bezüglich des Einflusses der unterirdischen Niederschläge auf die Speisung der Grundwasser bietet dies vorliegende Werk nicht genügend Raum, und ich muss mich mit den obigen Auseinandersetzungen vorläufig begnügen. Bei meinen folgenden Ausführungen über das Auftreten von Quell- und Grundwassern, sowie über deren Erschliessen gehe ich immer von der Voraussetzung aus, dass unterirdische Niederschläge und nicht Sickerwasser dem Blute der Erde Nahrung zuführen.

Die flüssigen Wasser, welche sich in den Hohlräumen des Erdinnern sammeln, haben entweder einen natürlichen Abfluss nach der Oberfläche durch einen dort ausmündenden Erdspalt, oder sie stehen mit anderen unterirdischen Sammelbehältern in Verbindung, sei es durch Abfluss ihres flüssigen Wassers dahin oder durch Verdampfung desselben und Niederschlag an anderem Orte.

Die an der Oberfläche austretenden Wasser bezeichnet man im allgemeinen als Quellen, und diese muss man wieder in sichtbare und unsichtbare unterscheiden.

Die *Wasseranlagen*, welche die Quellen speisen, liegen entweder *im Innern der Gesteinsformationen* der Erde, wo Spalten,

Klüfte und sogar grosse, weit ausgedehnte Hohlräume die Wasserzuflüsse aufnehmen, oder *in dem Verwitterungsgesteine* dieser Formationen. Besonders die geschichteten Formationen und unter diesen besonders die Kalksteine, bieten mit ihrer Zerklüftung und durch Einstürze gebildeten Hohlräumen dem Wasser die mannigfaltigsten Wege zur Sammlung, sowie häufig auch wieder Kanäle für den Abfluss.

In den Urgebirgen finden sich nur dann grössere Wassereinschlüsse, wenn mehrere Schichtenbildungen mit zwischengelagerten Verwitterungen, sogenannte Steinscheiden übereinander liegen; hier sind es besonders die Steinscheiden, welche Wasseransammlungen dienstbar sein können. Auch vulkanische Durchbrüche der Urgebirge mit ihren jüngeren Ueberlagerungen geben Veranlassung zur Bildung von Wasseransammlungen in grosser Tiefe, deren Oberflächenausflüsse warme Quellen bilden.

Die Sandstein- und vor allem die Kalkgebirge, mit ihrem mannigfaltigen Schichtenwechsel, Einlagerung von Thon- und Mergelschichten, sind die wasserreichsten; an dem Ausgehenden ihrer Schichten findet man besonders über dem Thonlager starke Quellen.

Die Bildung des Erdinnern ist nicht unveränderlich, denn es entstehen durch Erschütterungen und Auswaschungen fortwährend neue Spalten und Klüfte, ganze Gebirgsteile stürzen ein; indem sie neue Höhlen bilden, verschütten sie bisher vorhandene.

In den Schneeregionen der Hochgebirge treten im allgemeinen keine Quellen mehr aus, während jedoch im Meere noch Süsswasserquellen bis über den Meeresspiegel aufsteigen. Während die Temperatur des Quellenwassers mit der Tieflage ihres Sammelbehälters unter der Erdoberfläche zunimmt, nimmt sie in den Hochgebirgen mit der Annäherung an die Schneegrenze beträchtlich ab, weil hier die Quellen hauptsächlich von dem Schmelzwasser der Gletscher und des Schnees gespeist werden.

Gebirge mit steil aufgerichteten Schichten bewirken einen raschen Ab- und Zusammenlauf ihrer Gewässer, während das Wasser zwischen wenig geneigten Schichten einen langsamen Verlauf hat. Im ersten Falle ist daher die Ausgleichung der

Schwankungen in der Ergiebigkeit der Wasserzuflüsse nicht so wirksam, als im letztgenannten Falle. Wasserhaltende Schichten, über welchen die Wasser ablaufen, sind die thonigen Schichten und diejenigen von schieferiger Bildung und wenig geneigter Lage. Mulden- und wellenförmige Gebirgsschichten sammeln die Grundwasser über den undurchlässigen Einlagerungen. Die Thäler mit ihren Abhängen sind teils durch Auswaschungen entstanden (Erosionsthäler), und das Schichtengefälle setzt sich in diesem Falle von dem einen Abhange nach dem gegenüberliegenden in derselben Gefällrichtung fort; die etwa in den Schichten gesammelten Wasser treten an dem Abhange des Thales aus, wo die Schichten einfallen. Ist das Thal durch eine Senkung des Bodens entstanden, wobei die Schichten wellenförmig gebogen wurden, so sammeln sich die Grundwasser in der Thalmulde.

Ist das Thal durch Hebung entstanden, so dass die Schichten seiner einander gegenüberliegenden Abhänge nach der dem Thale entgegengesetzten Richtung fallen, so kann aus den Schichten kein Wasser in dies Thal gelangen.

Die über die Oberfläche abfliessenden Niederschlagswasser, welche sich in vorhandene Spalten ergiessen und Grundwasser-Ansammlungen im Erdinnern bilden, führen viele erdige Beimengungen mit sich, wodurch mit der Zeit die Wasserwege im Innern verlegt und verändert werden können, besonders wenn diese Beimengungen thoniger Natur sind. Sammelbehälter, die hauptsächlich von solchen Oberflächen-Abflüssen der Niederschläge gespeist werden, haben je nach ihrem Fassungsraum verschiedenartig auftretende Quellen; ist dieser im Verhältnis zur Grösse dieser zeitweiligen Zuflüsse sehr ausgedehnt, so wird die Wasserstandshöhe durch die einzelnen Zuflüsse und durch die darauf folgenden Unterbrechungen (wenn diese nicht zu lange dauern) nicht erheblich verändert und deshalb auch nicht die Quellabflüsse; auch verweilen in diesem Falle die Niederschlagswasser längere Zeit in dem Sammelbehälter, wodurch sie hier ihre Sinkstoffe ablagern, sich klären und ihre Temperatur derjenigen des Sammelbehälters nähern. Ist der Sammelraum jedoch nur klein, so liefern die Quellen derselben zur Regenzeit sehr vieles, aber trübes Wasser,

das die Temperatur der Aussenluft hat, während zur trockenen Zeit die Quellenlieferung rasch abnimmt, und wenn die regenlose oder trockene Zeit lange anhält, bleiben die Quellen häufig ganz aus; dabei wird das Wasser mit Abnahme der Quellenleistung immer klarer, und seine Temperatur nähert sich immer mehr derjenigen des Sammelraumes. So sind z. B. die sogen. „Hunger- oder Maibrunnen“ solche Quellen, die nur zur Regenzeit Wasser liefern und bei anhaltenden Regen sehr stark fliessen; je mehr Wasser diese Quellen liefern, desto schlechter ist das Wetter für die Landwirtschaft, weil das Pflanzenwachstum durch den übermässigen Regen gestört und die Reife der Früchte gehindert wird, daher der Name „Hungerbrunnen“.

Die unterirdischen Sammelräume für Oberflächen-Abflüsse sind immer nur bis zu einer bestimmten Höhe gefüllt, diese Höhe erhebt sich um so viel über die Quellenmündung, dass durch diesen Höhenunterschied, welcher das Gefälle des Quellenkanals zwischen Sammelraum und Ausmündung darstellt, die Reibungswiderstände des Abflusses überwunden werden können. Diese Reibungswiderstände wachsen mit der Länge des Abflusskanales und werden um so kleiner, je kleiner der Umfang des Durchflussquerschnittes zu diesem selbst ist. Je länger also ein Abflusskanal, desto mehr muss der Wasserspiegel im Sammler durch Zuflüsse gehoben werden, um eine bestimmte Wassermenge zum Abflusse zu bringen; desgleichen ist eine verhältnismässig grosse Erhebung des Wasserspiegels erforderlich, wenn der Abflusskanal nicht aus einem einzigen Schlauche von günstiger Querschnittsform besteht, sondern aus mehreren engen Einzelkanälen zusammengesetzt ist. Je weniger der Wasserspiegel gehoben werden muss für den Abfluss ein und derselben Wassermenge, desto grösser sind die Unterschiede der Quellenlieferung in trockener und nasser Zeit.

Der Wasserspiegel der Sammler für die Oberflächen-Abflüsse ist immer ein luftberührter und steht unter dem Drucke der Atmosphäre, mit welcher er durch die Zuflusskanäle und ebenso auch durch die Abflusskanäle in Verbindung steht. Eine gänzliche Füllung des Sammelraumes durch die genannten Zuflüsse ist nicht denkbar; denn wäre dies der Fall, so müssten sich bei längeren

Regenfällen, starkem, raschem Schneeschmelzen auch die Zuflusskanäle füllen und schliesslich oben überlaufen, wenn nicht durch den bedeutend erhöhten Druck das Wasser sich andere Auswege vorher verschaffen würde als die durch die ursprünglich vorhandenen Quellen. Hören dann plötzlich diese Zuflüsse auf, tritt längere Zeit trockene Witterung ein, so werden sich unter dem hohen Drucke und den erweiterten Abflüssen die Zuflusskanäle rasch entleeren, und dann muss auch im Sammelraum selbst der Wasserspiegel immer mehr sich senken, je länger die Oberflächenzuflüsse ausbleiben; die Luft erfüllt dann die Zuflusskanäle und den Raum über dem Wasserspiegel im Sammelbehälter.

Dadurch, dass diese Art Sammler immer einen grossen Luftraum haben, der sogar gewöhnlich viel grösser als der vom Wasser erfüllte Raum ist, erhalten sie auch Niederschläge aus dieser Luft, die um so bedeutender werden, wenn die Ausmündungen der Kanäle an der Erdoberfläche in erheblich verschiedener Höhenlage sich befinden, Temperatur und Luftdruck vor diesen Mündungen wesentlich von einander abweichen. Es entstehen dadurch oft sehr lebhafte Luftdurchzüge durch die Hohlräume im Erdinnern, welche einen beträchtlichen Temperaturwechsel der Luft veranlassen, und dadurch entstehen Niederschläge. Ist die Aussenluft feuchtwarm und gelangt sie infolge dieser Luftbewegung in den kühlen Raum des Erdinnern, so werden hier die überschüssigen Dämpfe ausgeschieden und in ziemlich bedeutender Menge, weil dieser Niederschlag ein ebenso ununterbrochener ist wie der durch die Kanäle ständig wehende Luftzug. Der Luftzug durch solche unterirdische Räume ist oft so stark, dass leichte Gegenstände, wenn sie vor die Einmündung an der Oberfläche gebracht werden, durch den einziehenden Luftstrom erfasst und mit hineingerissen werden.

Diese durch starken Luftwechsel erzeugten Niederschläge können so erheblich werden, dass sie etwaige Oberflächen-Zuflüsse von Niederschlägen überwiegen, d. h. den Quellenabfluss stärker beeinflussen als diese, so dass z. B. eine Quelle mehr Wasser zur warmen, regenarmen Zeit liefert als zur kühlen, nassen Jahreszeit, oder dass die Quellen schon beginnen stärker zu fliessen, wenn die Luft sehr feucht ist, ohne dass es schon regnet.

Viele Beobachtungen haben ergeben, dass alle plötzlichen Barometer-Depressionen bei zahlreichen Quellen eine Vermehrung ihrer Wassermenge hervorriefen, welche wieder nachliess, sobald das Barometer wieder stieg, die Luft wieder trockener wurde. Die Schwankungen in der Wasserlieferung der Orydon-Quelle in England betrugen infolge des Sinkens des Luftdruckes bis 2000 cbm täglich (= 23 Sekdlt.) Ferner ist beobachtet worden, dass die Wassermengen der Franzensbader Mineralquellen sich immer schon vor Eintritt des Regens vermehren, also nur durch unterirdische Niederschläge beeinflusst sind.

Auf Kophorn war mitten in den Dünen ein hochgelegener Teich; man sah jedesmal das aus dem Teiche in einen Behälter abgeleitete Wasser unruhig wallen, so oft die Luft sehr feucht war, und man konnte sich überzeugen, dass der Dünenteich schon vor dem Regen einen nicht unbedeutenden Zuwachs von Wasser aus dem Untergrunde empfing.

Auch die Winde haben einen grossen Einfluss auf die unterirdischen Niederschläge, indem durch deren mehr oder minder grossen Druck auf die Erdoberfläche die Luft mehr oder weniger lebhaft in den Untergrund getrieben wird; an den Berghängen, welche der Windrichtung entgegengesetzt sind, findet ein Eintreiben der Luft, und an den gegenüberliegenden, dem Winde abgekehrten Hängen ein Absaugen der Luft statt, wodurch die Luftbewegung durch das Erdinnere erheblich gefördert wird, und damit die unterirdischen Niederschläge.

In der Grafschaft Essex liegt die sogenannte Upminsterquelle hundert Fuss hoch an der Spitze eines Hügels, und diese Spitze selbst liegt nur 16 Fuss über der Quelle. Die ganze Grafschaft ist flaches Land und ragt in ihren höchsten Punkten etwa 120 m über die Meeresfläche. Diese Quelle hat immer reichlich Wasser, es mag nasse oder trockene Witterung herrschen.

Die Quelle der Abtei Haute-Combe in Savoyen liegt 127 m über dem Spiegel des Sees von Bourges, ist eine intermittirende und fliesst mit Pausen von 20 Minuten Dauer; bei grosser Trockenheit währen diese Pausen etwas länger. Wenn das Wasser innerhalb der Erde nach dem Aufhören des Abflusses wieder zunimmt,

so hört man im Innern des Berges ein dumpfes Geräusch, welches durch die von dem steigenden Wasser ausgetriebene Luft veranlasst wird; dass diese Luft auch durch den Abflusskanal beim Abnehmen des Wassers eindringt, macht sich durch ein kräftiges Ansaugen von Luft an der Quellmündung bemerkbar.

Aehnlich verhält sich der „Polterbrunnen" bei Altenbeken in Westfalen; er fliesst zuweilen gar nicht, im Sommer aber, mit Pausen von 6 Stunden, fliesst er kurze Zeit, zu anderen Zeiten liefert er alle 4 Stunden 15 Minuten lang Wasser und zwar in grosser Menge, so dass eine Mühle damit betrieben wird.

Die Erscheinung, dass Quellen, welche nur mit Unterbrechungen fliessen, sogen. intermittierende, auch zur Zeit anhaltender Trockne nicht versiechen, wo also Oberflächenzuflüsse von Niederschlägen nicht vorhanden sind, lässt ebenfalls darauf schliessen, dass unterirdische Niederschläge zur Speisung dieser Quellen, wenn nicht ganz, so doch wesentlich dazu beitragen, denn während jeder Unterbrechung des Quellenlaufes muss der Wasserstand im Sammelraum durch Zuflüsse immer erst wieder gehoben werden, bevor der Ablauf wieder beginnen kann.

Ein Beispiel des unterirdischen Ablaufes der Niederschlagswasser durch Spalten und Klüfte bietet der Zirknitzer See in Krain, der eine Spiegelfläche von etwa $1^1/_2$ Quadratmeilen hat. Er empfängt und verliert sein Wasser durch unterirdische Kanäle. Im Sommer fällt sein Wasserspiegel, und bei anhaltender Trockenheit ist er in wenigen Wochen ausgetrocknet, und kann man dann die Mündungen der Kanäle deutlich erkennen. Die Kanäle führen alle nach den in jener Gegend sehr zahlreichen und ausgedehnten unterirdischen Höhlen. Gegen Ende des Herbstes kehrt das Wasser wieder durch die Kanäle in den See zurück, oft auch schon genügt ein starker, anhaltender Gewitterregen in den benachbarten Bergen, um das vorher trockene Seebett zu überschwemmen.

Die an den Berghängen in zahllosen Rinnsalen herabstürzenden Niederschlagswasser gelangen durch Klüfte und Schlünde in die Hohlräume unter der Oberfläche, welche mit dem See und dessen Ausflüssen in Verbindung stehen; der streckenweise unterirdische Verlauf der Oberflächengewässer vollzieht sich geradeso wie der

Oberflächenabfluss. Von den Wänden und Decken der Höhlen rieselt auch zur trockenen Zeit beständig Wasser, und dies sind die Niederschläge aus der die Höhlen und Klüfte erfüllenden Luft.

Ein ähnliches Beispiel unterirdischen Wasserablaufes der Niederschlagswasser kann man in der Bildung der Quellen der Sorgue bei Vaucluse erblicken. Sie erhalten ihr Wasser aus einem stark zerklüfteten, mit zahlreichen Hohlräumen versehenen Gebirge, dessen Oberfläche durch viele Trichter, welche durch Unterwaschungen und Einstürze entstanden sind, durchbrochen ist. Durch diese Trichter stürzen die über die Oberfläche ablaufenden Wasser in die Tiefe, wo sie ihren Lauf weiter fortsetzen und die einzelnen Wasserrinnen sich vereinigen, bis schliesslich ein unterirdischer Bach entsteht, der durch eine Spalte seinen unterirdischen Kerker durchbricht, um seinen Weg unter freiem Himmel fortzusetzen.

Aehnliche Erscheinungen des Verschwindens der Oberflächenflüsse unter die Oberfläche und des Wiederaustretens derselben an die Oberfläche nach längerem unterirdischen Verlaufe finden sich an allen anderen Orten, wo die Erdrinde an der Oberfläche in der obenerwähnten Weise zerklüftet, ausgewaschen und ausgehöhlt ist. Diese unterirdischen Wasseransammlungen bestehen jedoch nicht lediglich aus den von der Oberfläche kommenden unmittelbaren Zuflüssen der Niederschläge, sondern auch mit einem beträchtlichen Teile aus den in den ausgedehnten Hohlräumen sich ergebenden Niederschlägen. Diese Hohlräume im Gebirge erstrecken sich auf grosse Entfernungen im Gebirge und haben, dem Schichtenfalle entsprechend, immer ein mehr oder weniger grosses Gefälle; besonders die Schlünde und Trichter, durch welche sie mit der Oberfläche in Verbindung sind, liegen in oft sehr verschiedenen Höhen, wodurch in der warmen Jahreszeit ein warmer Luftstrom von unten nach oben, in der kalten Jahreszeit ein kalter Luftstrom von oben nach unten beständig durch die Hohlräume streicht. Die warme Luft wird dabei abgekühlt, und die kalte einziehende Luft kühlt dabei die unterirdische Luft; in beiden Fällen werden daher unausgesetzt Niederschläge erzeugt, indem andrerseits aus dem Erdinnern von unten ebenfalls ununterbrochen warme, gesättigte Luft aufsteigt, die ebenfalls in den Hohlräumen abgekühlt

wird und überschüssige Dämpfe ausscheidet. Die Grösse der atmosphärischen Niederschläge erhellt am besten aus einem Beispiele, wozu sich das Sammelgebiet des oben angeführten Flüsschens Sorgue bei Avignon sehr gut eignet, welches eine Ausdehnung von 1600 Quadratkilometern hat.

Nimmt man die Hohlräume, Spalten, Klüfte, Höhlen auf 100 m Tiefe unter der Oberfläche mit nur $^1/_{20}$ der Bodenmasse an, so beträgt der Inhalt dieser Hohlräume:

$$\frac{100 . 1600 . 1\,000\,000 .}{20} = 8000 \text{ Millionen Kubikmeter.}$$

Nach Tabelle 1 ist ferner das Dampfgewicht bei $+ 5^0$ C. Temperatur der gesättigten Luft 0,00682 kg und bei 10^0 C. Temperatur 0,00939 kg. Rechnet man jedoch die wärmere Aussenluft nur mit $85\,^0/_0$ relativer Feuchtigkeit, also mit einem Dampfgewicht von 0,008 kg, so wird auf jeden cbm Luftraum bei einer Abkühlung von 10^0 auf 5^0 C. eine Wassermenge von 0,0012 kg ausgeschieden; in dem ganzen Sammelgebiete jedoch 8 000 000 000 . 0,0012 = 96 Millionen Liter oder 96 000 cbm flüssiges Wasser durch einen Niederschlagsvorgang. Es entspricht diese Wassermenge rund 1,0 Sekunden-Kubikmeter oder dem fünften Teile der Mindestlieferung der Sorguequelle zur trockenen Zeit. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Niederschlagsvorgänge wegen des beständigen Luftzuges sich fortgesetzt wiederholen und im Laufe von 24 Stunden mehrere Male ein Umtausch der Lufttemperatur sich wiederholen kann und dementsprechend auch die Niederschläge; ferner ist die beständig von unten aufsteigende Grundluft immer ganz gesättigt, hat also ein grösseres Dampfgewicht, als oben in Rechnung gesetzt wurde. Man sieht aus diesem Beispiele, dass die unterirdischen Niederschläge, weil sie unaufhörlich stattfinden, ganz beträchtliche Wassermassen liefern. Auch ist das unterirdische Niederschlagsgebiet nicht von der Oberflächen-Wasserscheide beschränkt, welche das Gebiet der oberirdischen Niederschläge begrenzt, indem die Erstreckung der unterirdischen Hohlräume, welche Gefälle nach einem gemeinsamen Sammelbrunnen haben, oft weit über die Oberflächen-Wasserscheide hinausgeht.

Es ist daher der bisherige Gebrauch, die aus dem Erdinnern möglicherweise zu erhaltende Wassermenge nach der Grösse des oberirdischen Niederschlagsgebietes abzuschätzen, nicht zu empfehlen, denn nur die Grösse des unterirdischen Sammelgebietes mit seinem räumlichen Inhalte ist auf den Wasserreichtum des Erdinnern von Einfluss. Allgemein üblich ist heute noch, $^1/_3$—$^1/_4$ der aus der jährlichen Niederschlagshöhe und der Grösse der oberirdischen Niederschlagsfläche sich ergebenden Wassermenge als diejenige Grundwassermenge zu betrachten, welche dem Boden ohne Beeinträchtigung der künftigen Wasserlieferung entzogen werden kann; und damit macht man die Rechnung ohne den Wirt, d. h. ohne Rücksicht auf die Möglichkeit der unterirdischen Sammlung und auf die unterirdischen Vorgänge überhaupt.

Von den absetzenden Quellen, die mit mehr oder weniger regelmässigen Unterbrechungen Wasser liefern, war oben schon die Rede; die Ursache dieser Erscheinung wurde schon verschieden zu erklären versucht. Zunächst muss man unterscheiden, ob die Unterbrechungen immer im gleichen Zeitmasse erfolgen, so dass z. B. die Zeit der Ergiessung und die der Unterbrechung während gleicher Witterungsverhältnisse immer dieselbe ist, oder ob die Unterbrechungen auch bei gleichen Witterungsverhältnissen verschiedenes Zeitmass haben.

Für die regelmässig unterbrechenden Quellen ergibt sich eine natürliche Erklärung durch das Vorhandensein von Hebern im Verlaufe des Abflusskanals vom Sammler nach der Quelle. Dieser Heber muss aus mehreren auf- und abwärts gerichteten Windungen des Abflusskanales bestehen, wie in Fig. 1 (S. 40) gezeichnet.

Denkt man sich zunächst den Sammler nur bis zur punktierten Linie *AB*, sowie auch den Heber *CD* bis zu dieser Linie mit Wasser gefüllt; wird dann weiter der Wasserspiegel im Sammler durch Zufluss gehoben, so steigt dementsprechend auch das Wasser im Abflusskanale und drückt hier die Luft in dem aufwärts gerichteten Bogen zusammen, da diese am Entweichen durch den Wasserverschluss bei *CD* verhindert ist. Durch fortgesetztes Steigen des Wassers im Sammler bis *EF* wird die Luft im oberen Kanalabschnitte endlich so stark zusammengepresst, dass sie den Wasser-

verschluss durchbricht und entweicht, wodurch dem Wasser die Bahn frei wird, den oberen Bogen des Kanals plötzlich zu füllen, sowie auch die ganze Kanalstrecke unter gleichzeitigem Abfluss. Ist dies geschehen, so wirkt der Abflusskanal als Saugheber, welcher den Sammler bis zur Linie *AB* entleert. Voraussetzung dabei ist, dass der obere Bogen, in welchem die Luft zusammengepresst wird, genügend luftdicht ist, während der Kanal bei *C* luftdurchlässig, zwischen *C* und *D* aber wasserundurchlässig sein muss, damit der Wasserverschluss bei der Entleerung des Sammlers immer gefüllt bleibt und die Füllung unter Zusammenpressung der Luft von neuem beginnen kann.

Ob alle diese Voraussetzungen in der Natur sich häufig zusammenfinden, ist fraglich; deshalb hat man auch auf andere Weise

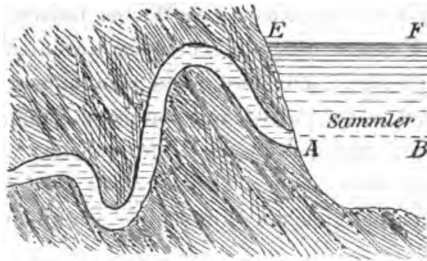


Fig. 1.

die Erscheinung des unterbrochenen Quellenlaufes zu erklären versucht, z. B. durch stark wechselnde Gefälle, verbunden mit streckenweiser Verengung des Kanalquerschnittes oder durch den Abfluss des Wassers über stufenartige Absätze; allein diese Erklärung genügt höchstens für ganz kurze Unterbrechungen, aber nicht für die viertel- und halb-, ja mehrstündigen Pausen, welche im Abflusse gewöhnlich eintreten. Eine andere Erklärung ist die, dass die Saugheberwirkung durch Füllung des Sammelraumes über dessen Wasserspiegel mit gespannter Luft bewirkt wird. In diesem Falle ist zwar der in Fig. 1 gezeichnete Wasserverschluss *CD* nicht erforderlich, dagegen müsste der Sammler gegen den Abfluss der gespannten Luft über dem Wasserspiegel dicht schliessen.

Gespannte Luft kann sich dadurch ergeben, dass das Wasser bei seinem Steigen die über dem Spiegel befindliche Luft, welche durch die luftdichten Wände und Decken der Höhle nicht entweichen kann, zusammenpresst, so dass der aufwärts gerichtete Bogen des Abflusskanales ganz voll läuft und die Saugheber-Wirkung eintritt, worauf die Entleerung bis zur Linie *AB* vor sich geht.

Sind Wände und Decke des Sammelraumes nicht luftdicht, aber die Risse und Spalten derselben stehen nicht mit der oberirdischen, sondern mit der unter dem Sammler vorhandenen tieferen, unterirdischen Atmosphäre in Verbindung, wo eine grössere Luftspannung als im Sammler vorhanden ist, verbunden mit höherer Temperatur, so ergibt sich auch in diesem Falle bei dem Steigen des Wassers über die Linie *AB* in bestimmter Spiegelhöhe eine Luftpressung, welche den Saugheber füllt und in Thätigkeit setzt. Wände und Decke, sowie auch das Wasser erhöhen dabei durch Berührung mit der wärmeren Grundluft ihre Temperatur, während diese dadurch abgekühlt wird und Niederschläge abgibt. Die Sammelräume der aussetzenden oder intermittierenden Quellen, aus welchen der Ablaufkanal mündet, können nicht sehr gross sein, weil das Steigen des Wasserspiegels immer schon innerhalb kurzer Zeit vor sich geht (höchstens mehrere Stunden); Oberflächen-Abflüsse der Niederschläge können daher unmittelbar zur Speisung solcher sich abwechselnd entleerender und wieder füllender Sammler nicht dienen, weil diese eine grössere Ansammlung der Niederschlagswasser für die trockene Zeit nicht ermöglichen. Nur durch mittelbare Speisung können auch diese Oberflächen-Abflüsse mit Unterbrechung abgeführt werden; sie müssen sich nämlich zunächst in einem geräumigen und höher als der aussetzende kleine Sammler gelegenen Hauptsammler ergiessen, aus welchem sie ununterbrochenen Abfluss in den kleinen Sammler haben, welcher das Wasser mit Unterbrechung weiter befördert.

Folgende Aufzählung von aussetzenden Quellen gestattet einen Einblick in das Wesen dieser Wasserläufe.

Die Quelle zu Fontestorbe in den Pyrenäen fliesst mit Pausen von je 32 Minuten, die Dauer des Abflusses ist $36^1/_2$ Minuten;

bei Regenwetter fliesst sie aber beständig. Die Quelle von Nismes fliesst regelmässig 7 Stunden und setzt 3 Stunden aus.

Die Quelle der Villa Plinisana am Comersee nimmt täglich 3—4 Stunden lang fortwährend zu, worauf dann ein ebensolches Abnehmen stattfindet; aber sie hört nie auf zu laufen. In diesem Falle ist eine Heberwirkung nicht vorhanden; das Verhalten der Quelle lässt vielmehr darauf schliessen, dass deren Zuflüsse in den Sammelraum ebenfalls zeitweise zu- und abnehmend sind. Derartige Zuflüsse können von oberirdischen Niederschlägen nicht herrühren, sondern nur von unterirdischen aus einem Luftraume, welcher regelmässig wechselnder Spannung unterworfen ist.

Die Quelle von Kolmar in den Niederalpen unterbricht ihren Lauf 8 mal in einer Stunde und macht Pausen je nach der Jahreszeit von 6—8 Minuten.

Bei Motta-Casset ist auch eine Quelle, wie die am Comersee, welche von 10 Uhr morgens bis 3 Uhr mittags fortwährend zunimmt, dann aber wieder allmählich abnimmt. Eine andere Quelle bei Gigouzac fängt abends um 10 Uhr an, reichlich Wasser zu geben und hört um 5 Uhr morgens ganz auf.

Der Engsterbrunnen im Kanton Bern erhält seine Zuflüsse aus einem Gletscher; der Brunnen hat gewöhnlich nur vom Mai bis August Wasser und auch dann nur von 4 Uhr nachmittags bis 8 Uhr morgens. Das Verhalten der nur zu bestimmten Tageszeiten fliessenden Quellen erklärt sich durch den Einfluss der Eis- und Schneeschmelze, durch die Tageswärme und durch die Entfernung der Quelle von dem Ursprung ihrer Zuflüsse.

In Peru auf dem Berge Però ist eine Quelle, die in der trockenen Jahreszeit nur zur Nachtzeit läuft, zur Regenzeit ihr Wasser aber ununterbrochen ergiesst.

Die Wasser dieser Quellen können hauptsächlich von unterirdischen Niederschlägen herrühren; zur trockenen Zeit z. B. durch die in die Hohlräume der Erde absickernde kalte Nachtluft, welche die wärmere Grundluft abkühlt, und zur Regenzeit findet Tag und Nacht ein derartiger Niederschlag statt, vielleicht auch verbunden mit Oberflächen-Abflüssen der Regen.

Liegen die Sammelräume in grosser Tiefe unter der Erd-

oberfläche, wo hohe Temperaturen und Spannungen der unterirdischen Atmosphäre vorhanden sind, so entwickeln sich im Wasser Dämpfe, die sich mit zunehmender Spannung einen Weg durch die Spalten der Erdrinde über deren Oberfläche bahnen, die Wasser mit in die Höhe reissen und mit grosser Gewalt sich über die Oberfläche erheben, bis die angesammelte Spannkraft verbraucht ist, worauf der Wasserstrahl wieder zurücksinkt, bis neue Dampfsammlungen in der Tiefe die Spannkraft wieder genügend erhöht haben.

Auf der Insel Island zählt man mehrere Hundert solcher Springbrunnen, wovon einige heisses Wasser durch die eisbedeckte Oberfläche emportreiben. Die meisten dieser Springwasser riechen und schmecken nach Schwefel, einige davon haben aber reines Wasser von milchweisser, grüner oder roter Färbung. Die 4 grössten sind der grosse und kleine Geysir und der grosse und kleine Strock. Die beiden Strock sind ununterbrochen in tosender Wallung und zischendem Schäumen. Die beiden Geysir dagegen werfen das heisse Wasser nur zuweilen, aber mit mächtiger Gewalt empor, um dann auf kurze Zeit zu unheimlicher Ruhe zurückzukehren. Das Wasser der Geysir hat eine Temperatur von + 80° C. und läuft in einzelnen Rinnsalen über den Bergkegel ab in die Tiefe. Der in dicken Dampf gehüllte Wasserstrahl steigt abwechselnd 5—30 m hoch, und der Wechsel vollzieht sich in der Strahlhöhe immer nach einigen Minuten.

Die Wassermengen, welche von diesen Springquellen ausgeworfen werden, rühren selbsverständlich nicht von den oberirdischen Niederschlägen her; ihre Herkunft lässt sich nur auf Niederschläge aus heisser Grundluft oder auf Meereszuflüsse in das Erdinnere zurückführen.

Erfolgen die Wasserzuflüsse im Innern der Erde in solcher Tiefe, dass die festen Stoffe daselbst in feuerflüssigem Zustande sind, so gelangt das Wasser dahin nur in Form hochgespannter, überhitzter Dämpfe, welche die Lava durchdringen, in Wallung versetzen, dabei ihre Spannung fortgesetzt erhöhend, bis sie sich durch die Spalten und Klüfte der Erdrinde eine Bahn und die Oberfläche durchbrechen, über welche sie unter Poltern, Donnern und Erbeben der Erdoberfläche in ungeheuren Massen oft mehrere

hundert Meter hoch aufsteigen, die glühende Lava mit emporschleudernd, welche sich über die Erdoberfläche ergiesst, während die mit in die Atmosphäre gerissene, durch den Dampf fein zerteilte Lava als Aschenregen über grosse Landflächen niederfällt.

Die Wassermengen, welche in Dampfform durch vulkanische Ausbrüche über die Erdoberfläche verbreitet werden, sind ausserordentlich grosse; sie werden dem Erdinnern hauptsächlich durch Zuflüsse aus dem Meere zugeführt, was schon äusserlich durch die geographische Lage fast aller heute noch thätigen Vulkane angedeutet wird, denn diese liegen immer in den Küstengebieten oder in deren Nähe. Ferner enthalten die Wasserdämpfe viel Chlorgas und Chlornatrium, welches letztere man in den Kratern als Kruste vorfindet. Auch lässt sich nur beim Meerwasser ein solcher Wasserdruck voraussetzen, welcher der hohen Dampfspannung im Erdinnern das Gleichgewicht halten kann; denn die Meerestiefen betragen oft 5000—8000 m. Wird der Dampfdruck stärker als der Wasserdruck des Meeres, so erfolgt der vulkanische Ausbruch im Meere selbst. Es erhebt sich ein Krater über den Meeresspiegel, der in manchen Fällen dauernd darüber hervorragt und als vulkanische Insel bekannt wird, oder er verschwindet wieder unter der Oberfläche. Früher thätige und jetzt erloschene Vulkane sind hunderte über die Erde verbreitet, und neue Vulkane entstehen immer wieder; die alten Kanäle der Wasserzuflüsse ins Erdinnere verstopfen sich durch Einstürze oder versiechen durch Zurückweichen der Oberflächengewässer, besonders des Meeres, und neue Wasserzuflüsse bilden sich. Die Natur bleibt immer dieselbe, aber ihre Formen sind ewigem Wechsel unterworfen.

Liegen die Sammelorte der Wasserzuflüsse zwar auch schon in grosser Tiefe mit hohen Temperaturen, die jedoch die festen Stoffe der Erde noch nicht in feuerflüssigen Zustand überzuführen vermochten, so verwandelt sich das Wasser auch in hochgespannte Dämpfe, welche bei ihrem Durchbruche der Erdoberfläche statt glühender Lava ungeheure Schlammmassen über dieselbe ergiessen, wodurch förmliche Berge gebildet werden. Auch diese Schlamm-Vulkane befinden sich gewöhnlich in der Nähe der Meeresküste.

Ist die Tieflage des Sammelortes unterirdischer Wasserzuflüsse der Art, dass die Dämpfe nicht überhitzt werden und auch nicht sehr hohe Spannung erreichen, so steigt das heisse Wasser, wenn ihm ein Weg sich öffnet, auch über die Oberfläche, doch ist es dann von Schlamm wenig oder gar nicht mehr verunreinigt, viele heisse Quellen, die auch häufig mit Unterbrechungen und mit schwankender Sprunghöhe austreten, geben hiervon Zeugnis.

Finden die Dämpfe und heissen Wasser des Erdinnern keinen Ausweg über die Erdoberfläche, so erhöht sich ihre Spannung so weit, als dies durch die am Sammelorte vorhandene Temperatur und den Druck der Zuflüsse möglich ist; ist diese Spannung erreicht, so stellt sich ein Gleichgewichtszustand zwischen dem Druck der Zuflüsse und dieser Spannung her, und die Zuflüsse müssen aufhören, d. h. sich andere Abflusswege suchen, wenn nicht unter dem hohen Drucke sich Abflusswege aus dem Sammelorte ins Erdinnere nach anderen Sammelstellen finden, was gewöhnlich der Fall ist, weil die Masse der Erdrinde nicht ganz undurchlässig ist. Das Wasser steht also in diesem Falle unter hohem Drucke im ersten Sammelraume mit ständigem Abfluss nach dem Erdinnern und ständigem Zufluss heisser, unter Dampfdruck stehender Wasser. Eine Speisung dieser hochgespannten unterirdischen Wasseransammlungen durch Zuflüsse von den oberirdischen Niederschlägen ist nicht denkbar; denn wären solche Spalten und Klüfte vorhanden, so müssten auch die hochgespannten Wasser aus dem Erdinnern durch diese Spalten über die Oberflächen aufsteigen, oder sich ihr nähern, so dass bei starken Regenfällen diese Spalten überlaufen müssten, da sie das Oberflächen-Wasser infolge des Gegendruckes von unten nicht abführen könnten. Zur regenlosen Zeit müssten aus den Zuflussspalten die Dämpfe des heissen Wassers aufsteigen, und durch Verdampfung müsste das Wasser immer mehr im Sammler schwinden.

Die warmen Quellen zeigen aber alle eine grosse Unabhängigkeit von der Feuchtigkeit der oberirdischen Atmosphäre. Die im Erdinnern angesammelten, hochgespannten Wasser werden gewöhnlich „artesische" Wasser und ihre Oberflächen-Ergüsse „artesische Brunnen" genannt; diese Benennung bezeichnet aber das Wesen dieser Wasser nicht im geringsten, denn es ist

in dieser Beziehung ganz gleichgültig, ob der zuerst bekannte derartige Brunnen in der französischen Provinz Artois oder irgendwo anders gebohrt wurde. Man könnte mit demselben Rechte die Bezeichnung „chinesische Brunnen“ einführen, denn die Chinesen kannten schon viel früher das Verfahren des Erschliessens der gespannten Grundwasser durch Bohrungen als die Franzosen. Die Unklarheit wird noch dadurch vermehrt, dass viele nur diejenigen Brunnen als „artesische“ bezeichnen, in welchen das Wasser über die Erdoberfläche steigt; gelingt es dem Wasser nicht, diese Höhe zu erklimmen, so muss es auf den Ehrentitel „artesisch“ verzichten. Ihre Ehrenrettung ist jedoch nicht schwierig; wenn man einen Brunnen in entsprechend tiefer gelegenem Gelände aus demselben Grundwasserbecken erbohrt, so erhebt sich hier das Wasser hoch über die Oberfläche, wird „artesisch“, was ihm bei dem höher gelegenen Bohrloche nicht möglich war. Ich bezeichne diese Art Grundwasser, welche eine solche Spannung haben, dass sie sich beim Erschliessen über die Öffnungsstelle mehr oder weniger erheben, als gespannte Grundwasser oder Druckwasser. Für die Brunnen habe ich nur die Bezeichnung „Schachtbrunnen“ oder „Bohrbrunnen“ mit Druckwasser oder Grundwasser ohne Auftrieb.

Nachfolgend zähle ich verschiedene Beispiele von Quellen und Brunnen mit Druckwasser auf.

Die Nauheimer drei Sprudelquellen (ein vierter wurde erst vor kurzem hergestellt) sind alle aus einer und derselben, unter 72° gegen den Horizont geneigten Sandsteinschicht erbohrt;

	Tiefe	Temperatur	Sprunghöhe	Salz
der erste Brunnen hat	38 m	20° C.	0,60 m	2½%
„ zweite „ „	180 „	28° „	2,00 „	3½ „
„ dritte „ „	205 „	30° „	16,5 „	5 „

Die drei Sprudel geben täglich 3 Millionen Liter Wasser und mehr als 5 Millionen Liter kohlensaures Gas, wobei noch 92 Zentner erdige Stoffe mit ausgeworfen werden.

Der Schaumstrahl zu Kissingen hat etwas geringere Wärme als der Nauheimer, obgleich das Bohrloch 660 m tief ist und eine Steinsalzschicht erschliesst. Seine Sprunghöhe beträgt 30 m.

Bad Soden hat einen 160 m tiefen Bohrbrunnen mit 28° warmem Sprudel.

Der Salzbrunnen zu Oeynhausen im Weserlande ist sogar 730 m tief.

An der südlichen Spitze der Insel Cuba entsteigt eine Süsswasserquelle dem Meere mit solchem Ungestüme und solcher Fülle, dass sie den in die Nähe kommenden Schiffen gefährlich werden kann; ausserdem sind noch mehrere derartige über die Meeresfläche sich erhebende Quellen bekannt.

Die aus grossen Tiefen stammenden Wasser sind meist für Wasserversorgungszwecke wegen ihrer hohen Temperatur und vor allem wegen ihres Gehaltes an Gasen und mineralischen Lösungen nicht verwendbar.

Der Gehalt des Wassers an freier Kohlensäure, sowie an atmosphärischer Luft nimmt zu mit wachsendem Drucke, also mit der Tiefe unter der Erdoberfläche; ebenso entspricht auch jeder Temperatur ein bestimmter Kohlensäuregehalt. Je tiefer daher die Wasser unter der Erdoberfläche sich sammeln, desto kohlensäurereicher werden sie. In der Nähe der Erdoberfläche sind die Wasser in dem Hochlande der Gebirge weniger kohlensäurehaltig als diejenigen der Thäler und Tiefländer.

Auch Kohlenwasserstoff verbindet sich mit dem Wasser; in Berührung mit der Luft entweicht dies Gas sehr leicht dem Wasser und ist entzündlich; solche entzündliche Quellen gibt es verschiedene.

Die Quellen von Aachen, Nenndorf und Schinznach sind besonders an Schwefel reich; Stickstoffgas findet man öfter in heissen Quellen.

Die Nauheimer Quellen haben ausser den gewaltigen Massen von Kohlensäure auch grosse Mengen Salz, Gips und Kalk. Auch die Osnabrücker Quellen liefern viel Salz.

Die Quellen von Baku und der Halbinsel Apscheron am Kaspisee liefern jährlich viele Millionen Pfund Naphta und flüssiges Erdpech.

Die Quellen von Leuk in Wallis liefern sehr grosse Mengen Gips, nämlich bis zu $^{2}/_{1000}$ Teile.

Die Grundwasser laugen die unterirdischen Salzlager aus, es bilden sich Höhlen mit Seen, die Decken der Höhlen stürzen ein, und aus dem unterirdischen See wird ein oberirdischer, wie z. B. das Tote Meer, welches 400 m tiefer als das Mittelmeer liegt; am Südende des Toten Meeres ist ein Salzsteingebirge gelagert, dessen Auswaschungen den Salzgehalt liefern, womit sich noch die aus dem Erdinnern quellende Naphta mischt.

Der grosse Salzsee in Nordamerika, in dem wegen seines Salz- und Schwefelgehaltes nichts Lebendes gedeihen kann, erhält viele Zuflüsse durch in der Nähe hervorquellende Schwefelquellen.

Der Gelehrte Lichtenberg sagt: „Ursprünglich war gar kein Wasser ohne Salzgehalt vorhanden, und das süsse Wasser ist erst durch Verdampfung und Ausscheidung der Salze entstanden."

Auf demselben Wege werden heute noch immer grosse Wassermengen der Meere ober- und unterirdisch entsalzt und dem Festlande als Süsswasser zugeführt.

Aus dem Vorhergehenden ergibt sich, dass aus den grösseren Tiefen unter der Erdoberfläche Wasser, welches für Wasserversorgungszwecke von Wohnstätten tauglich ist, im allgemeinen nicht erhalten werden kann; ausnahmsweise können jedoch auch genügend reine Wasser aus grosser Tiefe erbohrt werden. Wasser wird man innerhalb der Erde immer finden, ja sogar mit einem Bohrloche mehrere Sammelräume, welche, durch wasserhaltende Schichten getrennt, übereinander gelagert sind, und die man als Wasser-Stockwerke bezeichnet. Die günstigsten Orte für grosse, ergiebige Wasseransammlungen sind die durchlässigen Gesteine, wie Sand- und Kalkstein, und zwar um so günstiger, je zerklüfteter und ausgehöhlter die Gebirge sind und je mehr diese Hohlräume einerseits durch Spalten und Klüfte mit der Erdoberfläche, andrerseits mit dem tieferen Erdinnern in Verbindung stehen. Die Ergiebigkeit einer Wasseransammlung ist abhängig von der räumlichen Ausdehnung, der ein einziges Sammelsystem bildenden zusammenhängenden Hohlräume, Klüfte und Spalten. Die unterirdischen Niederschläge, welche dem Sammler zufliessen, sind um so bedeutender, je stärker die Luftbewegung durch die Sammel-

räume ist; die Bewegung der Aussenluft durch die Sammelräume wird gefördert durch zahlreiche Verbindungen derselben mit der Oberfläche und durch die verschiedene Höhenlage dieser Oberflächenmündungen.

Die Bewegung der Grundluft mit ihren Dämpfen aus der Tiefe unter den Sammelräumen in diese hinein wird gefördert durch möglichst viele Verbindungskanäle in die Tiefe und möglichst geringe Dichtigkeit der Luft im Sammelort; je lebhafter der Durchzug der Aussenluft in diesem, desto mehr wird die Grundluft augesaugt.

Die Zuflüsse von den oberirdischen Niederschlägen sind um so beträchtlicher, je zahlreicher die mit dem Sammler in Verbindung stehenden Kanäle an der Oberfläche ausmünden und je grösser das Oberflächengebiet ist, welches nach diesen Ausmündungen entwässert; dieses Entwässerungsgebiet der Oberfläche ist jedoch nicht gleichbedeutend mit dem sogenannten Niederschlagsgebiete, welches je nach der Lage und Ausdehnung des unterirdischen Sammelraumes grösser oder kleiner als das Entwässerungsgebiet sein kann. Von wesentlichem Einflusse auf die Grösse der Oberflächen-Abflüsse ist ferner das Gefälle des Geländes im allgemeinen, insbesondere nach für den Absturz ins Innere günstigen Stellen und dann die Kultur der Entwässerungsfläche; je dichter bewaldet oder mit Ackerfeld bestanden die Fläche ist, desto mehr werden die Niederschläge an der Oberfläche festgehalten, und davon kann nur wenig über die Oberfläche ablaufen nach den unter die Oberfläche führenden Schlünden. Aus dem Verlaufe der Schlünde an der Oberfläche, aus ihrer Aneinanderreihung kann man häufig auf die Erstreckung des unterirdischen Wasserlaufes schliessen, weil diese Schlünde oder Trichter durch Auswaschungen dieser Wasserläufe und dadurch veranlasste Einstürze entstanden sind.

Die Wasseransammlungen innerhalb der Verwitterungen der Erdrinde.

Die Gesteinsschichten werden an der Oberfläche durch den Einfluss des Sauerstoffes in der Luft, durch die Feuchtigkeit und

den Frost zersetzt, in ihrem Zusammenhange gelockert und schliesslich zerbröckelt, so dass sich das noch unzersetzte Gestein im Laufe der Zeit mit einer dicken Schicht dieser Verwitterungstrümmer bedeckt.

Ist die Erdoberfläche wenig geneigt, so wird die Ablagerung der Verwitterungen über dem Muttergesteine durch den Abfluss der Niederschlagswasser darüber hinweg nur wenig verändert und erhält sich in ihrer Mächtigkeit von einigen Metern und oft in grosser Flächenausdehnung.

Je nach der Natur dieser Verwitterungen, die aus kleineren und grösseren Felsstücken, sowie aus Grus zusammengesetzt sein können, finden sich darin mehr oder weniger grosse zusammenhängende Hohlräume, welche der Wasseransammlüng und zugleich dem Ablaufe dienen können. Die Oberflächenabflüsse der Niederschläge ergiessen sich über dieselben und füllen die Hohlräume zwischen den Felsgeröllen und dem Gruse, wo sie dem geringen Gefälle entsprechend langsam nach den tieferen Ablagerungen ablaufen, stellenweise als kleine Quellen über die Oberfläche hervorbrechend; ist für den Abfluss zu wenig Gefälle vorhanden, so entsteht ein Sumpf. Die Wassermengen, welche aus solchen Ablagerungen über dem Muttergesteine erhalten werden können, sind nicht sehr gross, weil diese Ablagerungen nur auf den Scheiteln der Berge und deren sanften Abdachungen vorkommen, also die Ausdehnung des Niederschlagsgebietes nicht bedeutend ist. Ist die Fläche stark bewaldet oder bepflanzt, so ist dadurch das Eindringen der Niederschlagswasser in diese Verwitterungsschicht beträchtlich erschwert oder überhaupt unmöglich gemacht, weil durch diese Kultur die ursprüglich groben Verwitterungsgesteine allmählich verkrümelt wurden, so dass das Wasser von oben nicht mehr tief eindringen kann. Dagegen erhält sich auf dem Waldboden und in demselben die einmal eingedrungene Feuchtigkeit sehr lange, so dass ein zu rascher Abfluss der Niederschlagswasser verhindert wird, wodurch sich eine gleichmässigere Verteilung der Feuchtigkeit auf nasse und trockene Zeit ergibt. Gewonnen werden die in ursprünglichen Verwitterungslagern sich sammelnden Wasser durch Einlegen von Entwässerungsleitungen (Drainagen).

Durch den Abfluss der Regenwasser, sowie der Wasser während der Schneeschmelze, besonders durch die Fluten starker Gewitterregen oder Wolkenbrüche werden die Verwitterungen von ihren Muttergesteinen abgeschwemmt und thalwärts getragen; die Abschwemmung ist um so tiefer gehend, je mehr die Bodenfläche gegen den Boden geneigt ist. Die Hochflächen der Berge, welche nur geringes Gefälle haben, werden daher verhältnismässig wenig angegriffen, desto mehr die vom Rande der Hochfläche abfallenden Hänge der Berge, welche, wenn sie nicht durch Waldbestand geschützt sind, bis auf den nackten Fels von den herabstürzenden Wassern ihrer Verwitterungen beraubt werden. Das Wasser nimmt seinen Weg die Abhänge hinab nach den Thälern, wo je nach dem Gefälle der letzteren das herabstürzende Wasser in seiner Geschwindigkeit mehr oder weniger gehemmt wird und dadurch die schwersten unter den mitgerissenen Verwitterungstrümmern am Fusse der Abhänge oder in deren Nähe abgelagert werden. Die weniger groben, leichteren Trümmerstücke, sowie Gruse, Sande, Thon, werden vom Wasser thalwärts weiter getragen, wobei dieselben in um so grössere Entfernungen von ihrem Herkunftsorte gelangen, je leichter sie sind.

Der zuerst stürmische, dann fortgesetzt sehr lebhafte Verlauf der Oberflächen-Abflüsse erstreckt sich von den Hochflächen die Abhänge hinab durch Schluchten und Thäler, unterbrochen von Thalkesseln und plötzlichen Abstürzen bis zum Auslaufe dieser Thäler am Rande der Vorberge des Gebirges, wo die Ebenen der ausgedehnten Flussthäler und der Tiefländer sich anschliessen. Diese Thäler sind im Laufe der Jahrtausende durch die Ablagerungen der vom Wasser mitgerissenen Gesteinstrümmer zum Teile ausgefüllt worden und dadurch der natürliche Thalweg, die Schnittlinie der beiderseitigen Abhänge verdeckt. Diese Anschwemmungen der Gebirgsthäler mit ihren Thalkesseln vom Fusse der obersten Abhänge bis zur Ausmündung in die Niederungen am Rande der Vorberge bezeichne ich als die obere oder erste Stufe des Schwemmlandes. Die Mächtigkeit der Schwemmschichten der oberen Stufe nimmt mit der Länge des Thalweges zu und ist ferner auf denjenigen Strecken,

welche starkes Gefälle haben, grösser als dort, wo die Wasser nicht so stürmisch verlaufen; gegen den Ausgang eines Thales, besonders bei dessen Ausmündung in die Ebene, ist daher die Mächtigkeit dieser Ablagerungen am grössten. Die Grösse der einzelnen Trümmerstücke, welche das Schwemmland zusammensetzen, nimmt in der Längsrichtung des Thalweges von oben nach unten ab; im Thalquerschnitt aber liegen die gröberen Ablagerungen unten über dem natürlichen Thalwege, von wo sie in der Richtung nach der Oberfläche abnehmen. Die Fig. 22 u. 23 S. 143 geben ein Bild der zu- und abnehmenden Stärke der Ablagerungen. Da die Anschwemmungen am Fusse der Abhänge aus grobem Gerölle und Felsstücken bestehen, so können die von den Abhängen herabfliessenden Wasser durch diese Anschwemmungen leicht unterirdischen Abfluss finden, welcher hauptsächlich in der Richtung des unterirdischen, natürlichen Thalweges sich bewegt, weil hier das grösste Gefälle vorhanden ist. Auch die unter- und oberirdisch an den Abhängen austretenden Quellen nehmen teilweise oder gänzlich ihren Ablauf durch die Gerölle des Schwemmlandes. Ist das Gerölle bei starken Niederschlägen überfüllt, so strömen die Wasser über die Oberfläche des Schwemmlandes, wo sie sich ein Rinnsal oder ein Bett auswaschen, dessen Thalweg senkrecht über dem natürlichen Thalwege liegt, wenn er nicht durch Kulturarbeiten, wie z. B. Strassenbauten, oder durch Naturereignisse wie Bergrutsche, Felsabstürze gewaltsam verlegt wurde. Die kleineren oder grösseren Gebirgsbäche haben, je nachdem sie hauptsächlich nur von den unmittelbaren Abflüssen der Niederschläge über die Oberfläche oder von Quellen gespeist werden, in trockener oder nasser Jahreszeit einen sehr verschiedenen Wasserstand, und ebenso sind auch die unterirdisch im Gerölle abfliessenden Wasser davon abhängig. Je weniger Quellen sich in den Thälern vorfinden, desto rascher versiechen die Gebirgsbäche nach dem Abflusse der Oberflächenwasser, und desto rascher nehmen auch die Wasser im Gerölle ab. Solange das Rinnsal oder Bett mit Wasser gefüllt ist, so lange ist auch das Schwemmland des Thales bis über den Wasserspiegel des Baches mit Wasser angefüllt, das in beständigem Ablaufe thalwärts begriffen ist. Der Ablauf ist unter-

irdisch viel langsamer, der Dichtigkeit des Schwemmlandes entsprechend, als der über die Oberfläche stattfindende. Der Durchflussquerschnitt des Schwemmlandes wird mit der Annäherung der Gebirgsthäler an die vorliegende Ebene immer tiefer und breiter, die Gesteinstrümmer immer kleiner, sie werden zu Geröllen und Geschieben und dadurch auch der Abfluss der Grundwasser immer langsamer. Häufig sind die Thäler durch grössere Erweiterungen, Thalkessel, unterbrochen, so dass hier die Fluten starker Regenfälle und Schneeschmelzen sich ausbreiten und ihren Sturmlauf mässigen müssen, weshalb man hier gewöhnlich grosse Ablagerungen von Gesteinstrümmern vorfindet, in deren Hohlräume entsprechend grosse Wassermengen bis auf den Thalgrund versinken und hier langsam ablaufen. Das ganze obere Schwemmland stellt demnach einen grossen unterirdischen Wasserbehälter dar, welcher von dem natürlichen Thalwege beginnend, bis nahe unter die Erdoberfläche mit Wasser gefüllt ist, das sich langsam abwärts bewegt und in den Untergrund der ans Gebirge stossenden Ebene ausmündet, also in das Schwemmland der unteren Stufe. Eine Unterbrechung des unterirdischen Grundwasserstromes kann in einzelnen Thälern dadurch veranlasst werden, dass das Gestein der Thalsohle, worauf das Schwemmland ruht, Risse und Spalten hat, durch welche das Wasser einfallen und nach anderen Sammelorten und Abflüssen entführt werden kann, oder weiter abwärts in demselben Thale wieder über diese Sohle in das Schwemmland eintritt.

Je steiler die Abhänge sind, welche ein Thal einschliessen, desto rascher führen sie die Niederschlagswasser ins Thal hinab, und desto weniger finden sich auf ihnen Anhäufungen von Gesteinstrümmern und Pflanzenwuchs, welche diese Wasser längere Zeit festzuhalten vermögen, so dass sie allmählich dem Thale zufliessen.

Das Schwemmland zwischen solchen Steinabhängen hat daher sehr ungleichmässige Zuflüsse, während zwischen sanft geneigten Abhängen, die stark bewaldet und mit Trümmergesteinen bedeckt sind, die Oberflächen-Abflüsse der Niederschläge auf einen grösseren Zeitraum verteilt sind; grosse Sumpfflächen bilden Ver-

teilungsbehälter der Niederschlagswasser. Im Hochgebirge sind besonders der den ganzen Winter, teilweise bis in den Sommer liegen bleibende Schnee, sowie die Gletscher, die Vorratskammern des Wassers für die trockene Jahreszeit, indem sie dann in rascher Abschmelzung begriffen sind und mit ihren Abflüssen die ober- und unterirdischen Wasserläufe speisen.

Auch die Lage der Berghänge gegen die Sonne und gegen die Richtung der feuchten Winde ist von grossem Einfluss auf die Speisung der Grundwasser; die nördlichen Abhänge werden durch die Sonnenwärme nicht ausgetrocknet, sowie nicht stark erwärmt, weshalb hier wehende feuchtwarme Winde starke ober- und unterirdische Niederschläge erzeugen können. Gegen Westen und Südwesten gerichtete Abhänge werden bei uns in Europa von den herrschenden, stark befeuchteten Winden getroffen, erhalten deshalb auch die grössten ober- und unterirdischen Niederschläge, da die feuchte Luft auch in den Untergrund getrieben wird. Die Abhänge gegen Süden erhalten auch stark gesättigte Winde vom Mittelmeere, besonders in den Alpen, sind aber andrerseits beständig der Sonne ausgesetzt. Die Abhänge gegen Osten werden von den trockenen Landwinden aus Asien und Russland getroffen und sind deshalb die trockensten.

Die Oberflächen-Zuflüsse nach dem Schwemmlande beginnen alle an der Wasserscheide der Thäler, welche durch die Kammlinie der Berge gebildet wird; die hiervon eingeschlossene Horizontalfläche ist die Niederschlagsfläche des Thales. Mehrere Thäler zusammen bilden eine Entwässerungsgruppe, deren Sammler das Hauptthal darstellt, welches in das Schwemmland der unteren Stufe mündet; jede Entwässerungsgruppe hat demnach ein bestimmt abgegrenztes Niederschlagsgebiet, welches für die Grösse der Oberflächen-Abflüsse der Niederschläge im allgemeinen massgebend ist. Die Zuflüsse des oberen Schwemmlandes bestehen jedoch nicht nur in den Oberflächen-Abflüssen der Niederschläge des betreffenden Gebietes, sondern oft sogar hauptsächlich aus dem Wasser der an den Abhängen entspringenden, grösseren und kleineren Quellen, die teils aus unterirdischen Niederschlägen ihr Wasser erhalten oder nichts anderes sind, als die Ausmündung eines

unterirdischen Verlaufes der Oberflächenwasser, sei es aus dem Niederschlagsgebiete des vorliegenden Thales, sei es aus demjenigen einer benachbarten Thälergruppe. An sanft geneigten Abhängen der Erosionsthäler fallen in der Regel die Schichten des Gebirges nach dem Thale ein, und daher treten hier, besonders an den Steinscheiden der Schichtenköpfe, Quellen aus; an den Steilabhängen findet man selten grössere Quellen, weil hier die Schichten nach der dem Thale entgegengesetzten Seite fallen. In Senkungs- oder Wellenthälern kommen häufig Schichtenbrüche, sogenannte Verwerfungen vor, wodurch auch Schichtenköpfe ausgehend werden; in diesen Verwerfungsspalten treten, wenn sie mit Steinscheiden in Verbindung stehen, häufig Quellen auf. Die am Fusse der Abhänge austretenden Quellen sind häufig durch Schutthalden verdeckt, welche von den Verwitterungen der Abhänge hier abgelagert werden. Durch Abräumung dieser Überlagerungen kann man die einzelnen Wasserfäden bis zu ihrer Austrittsspalte im Schichtengesteine verfolgen. Viele Quellen treten unterirdisch aus und ergiessen unsichtbar ihre Wasser in das Grundwasser des Schwemmlandes.

Die Wasser des Schwemmlandes der oberen Stufe sind um so reiner, je mehr sie aus Quellwassern bestehen, auch ihre Temperatur nähert sich in diesem Falle der mittleren Jahrestemperatur, besonders wenn sie aus einer Tiefe des Schwemmlandes von 5 m und darüber entnommen werden.

Ist das Schwemmland nach Ablauf der von den Niederschlägen herrührenden Flutwasser unter der Oberfläche zum Teil wasserleer, so streicht hier die Luft durch die Hohlräume der Gesteinstrümmer, und zwar im allgemeinen von unten nach oben, weil unten die Luft wärmer ist und unter höherem Druck steht, als in den oberen Ausläufen der Gebirgsthäler. Im Sommer wird die Luft im Untergrunde abgekühlt und scheidet Niederschlagswasser aus, im Winter wird die wärmere, gesättigte Grundluft abgekühlt durch den Luftzug von aussen und erzeugt dadurch ebenfalls Niederschläge. Wenn man die räumliche Ausdehnung des fraglichen Schwemmlandes berücksichtigt und die ununterbrochene Thätigkeit des Luftdurchzuges, so muss man zu dem Schlusse kommen, dass

auch durch unterirdische Niederschläge im Schwemmlande selbst diesem beträchtliche Wassermengen zugeführt werden können. Thäler, welche den feuchtwarmen West- und Südwestwinden ausgesetzt sind, werden auf diesem Wege ihre Grundwasser in grösserem Masse vermehren, als solche, welche dem trockenen Ostwinde sich öffnen.

Die *untere Stufe des Schwemmlandes* besteht aus den mächtigen und ausserordentlich ausgedehnten schichtenweisen Ausfüllungen der zwischen verschiedene Gebirgszüge eingeschnittenen weiten Flussthäler, sowie aus dem von den Vorbergen bis zum Meere sich erstreckenden Tieflande. Das Ausfüllungsmaterial haben die Flutwasser der Niederschläge aus den Thälern herabgeführt und in diesen weiten Landstrecken der Schwere des Materials entsprechend abgelagert. Diese Anschwemmungen haben zu verschiedenen geologischen Perioden stattgefunden und gehen heute noch vor sich; diesen verschiedenen Perioden entsprechen die verschieden übereinander gelagerten Schichten des Schwemmlandes. Die Schichten bestehen aus Sand verschiedener Korngrösse, aus Kies, Geschieben und Geröllen, wie denn auch eingelagerte Thonschichten vorkommen. Die Reihenfolge der Schichten und ihre Mächtigkeit ist örtlich sehr verschieden, je nach dem die Wasser, welche seinerzeit den Hertransport der Materialien bewirkten, grössere oder geringere Geschwindigkeit besassen, und je nach der Entfernung des Ursprungsortes der Materialien von dem Ablagerungsorte.

Rasch fliessende Gewässer führen grobe Gerölle und Geschiebe thalwärts und lagern sie in grösserer Entfernung vom Gebirge ab, als langsamer fliessende Gewässer. Die Korngrösse der Ablagerungen wird mit der Entfernung vom Ursprungsgebirge immer kleiner, bis schliesslich nur noch Sand aus dem Wasser scheidet. Die thonigen Sinkstoffe, welche im Wasser schweben, lagern sich dort ab, wo das Wasser nur sehr langsam fliesst oder ruhig steht. Die Thoneinlagerungen sind daher in den Schichten des Schwemmlandes häufig die Ausfüllung der darin vorkommenden Mulden, in welchen das Wasser nur wenig Bewegung hatte; sie bildeten Seebecken oder waren weite Ausbuchtungen von Wasserläufen.

In dies untere Schwemmland ergiesst die obere Stufe alles

von ihr abgeführte Wasser durch die in die untere Stufe ausmündenden Thäler mit ihren ober- und unterirdischen Wasserläufen und erfüllten damit alle darin abgelagerten Schwemmschichten; in diesem folgt das Wasser dem natürlichen Gefälle nach dem Thalwege, der auch im unteren Schwemmlande, sowohl an der Oberfläche als auch über dem Muttergesteine der Erdrinde vorhanden ist, und wo auch, wie im oberen Schwemmlande, der Oberflächen-Thalweg durch mannigfaltige Kulturarbeiten und Naturereignisse gewaltsam von der natürlichen Bahn, senkrecht über dem unteren Thalwege, abgelenkt wird. Der Oberflächen-Thalweg besteht gewöhnlich aus einem Fluss- oder Strombett, in welches zunächst die Oberflächengewässer der oberen Stufe sich ergiessen; ausserdem dringen auch in diese Flussbetten, welche in dem Schwemmlande ausgewaschen sind, sowohl durch die Uferwände als auch durch die Sohle die im Schwemmlande angestauten Grundwasser ein. Den Fluss- oder Stromlauf kann man demnach als das Oberflächen-Rinnsal aller Oberflächenabflüsse sowie eines Teiles der im Schwemmlande abfliessenden Grundwasser ansehen. Das Strombett ist in Wirklichkeit im Verhältnis zur Ausdehnung und Mächtigkeit seines Schwemmlandes nur ein Rinnsal, denn neben und unter dem Strombett ist der ausgedehnte See oder ein Meer von Grundwasser, welches das Schwemmland erfüllt, in Bewegung nach derselben Richtung wie der Fluss, immer den grossen, offenen Weltmeeren zuströmend und sich in diese ergiessend. Es besteht demnach ein ununterbrochener Zusammenhang zwischen den Weltmeeren und den Grundwassern des Schwemmlandes mit den Flüssen, Strömen und Landseen von der Meeresküste bis hinauf zu den obersten Thalausläufen und Gebirgssatteln, welche die Wasserscheiden der Thalausläufe darstellen.

Wie oben schon erwähnt, ist das Schwemmland zu verschiedenen geologischen Perioden entstanden; in jeder dieser Perioden waren die Oberflächengestaltung, die Verteilung von Wasser und Land an der Oberfläche, das Klima, sowie Pflanzen-, Tierleben andere, weshalb auch die Abflussverhältnisse der Oberflächen- und Grundwasser und die dadurch sich ergebenden Ablagerungen der Gesteinstrümmer und ihrer Verreibungen für jede Periode ver-

schieden sind, wie sich aus der Mannigfaltigkeit der übereinander gelagerten Schwemmschichten ergibt. Für jede dieser Ablagerungen ist sowohl das ober- wie das unterirdische Niederschlags- und Abflussgebiet ein anderes, und gerade deshalb, weil die unterirdischen Abflussgebiete der einzelnen Ablagerungsperioden in einander übergreifen, stehen auch die Grundwasser der einzelnen Schwemmschichten öfter mit einer der benachbarten in Verbindung, so dass man die Grundwasser im Schwemmlande innerhalb eines von dem festen Gesteine der Erdrinde und dem Meere eingeschlossenen Gebietes als eine einheitliche Masse ansehen kann. Diese Verbindung der verschiedenen Schichten untereinander ist nicht immer in unmittelbar senkrechter Richtung von unten nach oben zu verstehen, da hier die Verbindung häufig durch eingelagerte Thonschichten unterbrochen ist; sie ist häufig nur an den Umfangsrändern der Schichten vorhanden, so dass in diesem Falle die Ausgleichung verschiedener Druck- und Temperaturverhältnisse, sowie der Austausch der vom Wasser gelösten Stoffe nur auf grosse Entfernung und mit Überwindung grosser Reibungswiderstände möglich wird. Je nach der Tieflage der Schwemmschichten haben daher die aus ihnen entnommenen Wasser verschiedene Temperatur, Druckhöhe und Beschaffenheit, je nachdem die Durchlässigkeit der Schichten die Mischung der verschiedenen Wasser auf ihrem Verbindungswege mehr oder weniger begünstigt.

Die Schwemmschichten unterscheidet man je nach der Zeit ihrer Entstehung in zwei Gruppen; die obersten Schichten, welche ihre Entstehung der jetzt bestehenden Oberflächengestaltung, Verteilung von Land und Oberflächenwasser, sowie dem Klima der gegenwärtigen Periode verdanken, also jetzt auch fortwährend noch weiter in der Bildung begriffen sind, bezeichnet man als Alluvialschichten, während man alle anderen Schwemmschichten früherer geologischer Perioden als Diluvialschichten bezeichnet. Das charakteristische Merkmal bei den Schichtengruppen ist demnach, dass die Alluvionen sich in der Gegenwart noch weiter entwickeln und verändern, während die Diluvionen bezüglich ihres Entstehens längst in Ruhe sind.

In der Ablagerung der verschiedenen Schwemmmaterialien macht sich, wie oben schon erwähnt, die Wassergeschwindigkeit und die Schwere der einzelnen Gesteinstrümmer geltend, so dass die gröberen Materiale im Oberlande, die feineren im Tieflande zu finden sind. Da nun die Diluvionen verschiedenen geologischen Perioden angehören, so ist in ihnen diese Gruppierung des Anschwemmungsmaterials der jeweiligen Oberflächengestaltung der Erde entsprechend eine sehr verschiedene; an demselben Orte, wo früher Sand abgelagert wurde, findet man in der folgenden Periode groben Kies oder Thon übergelagert. In den Alluvionen folgt jedoch von unten nach oben auf Gerölle wieder Gerölle, auf Sand wieder Sand; die Alluvialschichten haben also in ihrer ganzen Mächtigkeit gleichartige Zusammensetzung. Von der Tiefebene zum Gebirge und in diesem die Thäler aufsteigend, begegnet man dem feinen Flugsande, der grober Sand, Grus wird, in kleine Kiese, Geschiebe und Gerölle übergeht, welche im Gebirge immer grösser, sogenannte Wacken werden, bis schliesslich grosse Steine, ganze Felsblöcke den Weg bezeichnen, auf welchem das Wasser zu Thal strömt; die Gletscher schieben förmliche Thalsperren vor sich her, aus Gesteinstrümmern und Felsblöcken bestehend, die sogenannten Moränen. Ganze Berge könnte man zusammensetzen aus dem Gesteinsmateriale, welches das Wasser in die Thäler und Ebenen bis ins Meer führt, und welche es auf dem Wege dahin, vom massiven Felsblock bis zum feinsten Sandkorn, zerreibt.

Der Einfluss der Oberflächen-Abflüsse der Niederschläge ist in der oberen Stufe des Schwemmlandes ein anderer als in der unteren Stufe; dort erfüllen die rasch und in grossen Massen in die verhältnismässig engen Thäler herabstürzenden Flutwasser das Schwemmland sehr rasch, und der sonst friedlich das Thal herabplätschernde Bach wird zum reissenden Strome. Sobald jedoch die weit ausgedehnte Ebene mit ihrem dichteren Anschwemmungsboden erreicht wird, können die Oberflächenwasser nicht mehr so rasch in den Boden dringen, noch weniger diesen ganz füllen, sie müssen vielmehr dem gewöhnlichen Laufe der Oberflächengewässer folgen, und wenn deren Bett zur Aufnahme der Flutwasser nicht genügt, übersteigen diese die Ufer und breiten

sich über die Ebene aus. In diesem Falle ist also der Grundwasserstand der Ebene dem Steigen der Oberflächengewässer nicht sofort gefolgt, denn es bedarf dazu längerer Zeit, bis durch den Überdruck der Oberflächengewässer sich der Grundwasserstand erhöht.

An der Grenze, wo die Gebirgswasser die Ebene erreichen, beginnt bei solchen Hochwassern die allmähliche Senkung der Grundwasser unter die Oberflächenwasser, und sie nimmt zu bis zu der Stelle, wo das Steigen des Hochwassers über den vorherigen Stand sein Höchstmass erreicht, und hält gleichen Schritt mit dem Unterschiede der Oberflächen-Wasserstände vor und während des Hochwassers. Die Erhöhung des Grundwasserstandes durch die Hochwasser erfolgt zunächst am bedeutendsten vom Gebirge her infolge des dortigen hohen Grundwasserstandes und des thalwärts gerichteten Gefälles; ferner durch den Druck des Hochwassers auf die Uferwände und auf die Oberfläche des von ihm überschwemmten Geländes. Die Ausgleichung der Höhe des Grundwassers und des Hochwassers wird sich um so rascher vollziehen und auf das ganze Gebiet ausdehnen, je durchlässiger die Oberfläche und der Untergrund ist; da im Oberlande die Alluvialschichten aus um so gröberem Gerölle bestehen, je mehr man sich dem Gebirge nähert, so ist hier die schnellste Ausgleichung der Wasserstände zu erwarten.

Man sieht aus dem eben geschilderten Vorgange der Hochwasser, dass die oberste wasserführende Schwemmschicht gleichsam einen ungeheuer grossen, unterirdischen Wasserbehälter darstellt, welcher zur Zeit hoher Wasserstände der Oberflächengewässer grosse Wassermengen aus diesen aufnimmt, um sie zur Zeit niederer Wasserstände wieder an dieselben abzugeben; denn der Abfluss der durch die Hochwasser angestauten Grundwasser erfolgt mit sehr geringer Geschwindigkeit, ebenfalls wieder der Durchlässigkeit des Bodens entsprechend. Der Untergrund wirkt als Ausgleichungs-Behälter zwischen nasser und trockener Jahreszeit; unsere Flüsse und Ströme würden in der trockenen Zeit versiechen, wenn sie nicht beständig und in der ganzen Ausdehnung ihres Laufes Zuflüsse aus dem Grundwasser des Schwemmlandes

erhielten; die im Gebirge ausfliessenden Quellen allein vermögen nicht die Verluste zu ersetzen, welche die Oberflächengewässer auf ihrer Reise von der Quelle bis zum Meere durch Verdunstung erleiden. Wenn die Hochwasser in den einzelnen Fällen nicht ausserordentlich gross und stürmisch sind, dafür aber im Laufe des Jahres sich öfter in mässiger Weise wiederholen, so wird dadurch das Ausgleichungsverhältnis ein günstigeres, weil in diesem Falle grössere Wassermengen der Hochwasser dem Untergrunde zugeführt werden können. Stark bewaldete Gebirge, Landseen und Sümpfe im Gebirge wie im ganzen Verlaufe der Gewässer, natürliche und künstliche Aufstauungen der Wasserläufe zu grösseren Sammelbehältern, eine möglichst gleichmässige Verteilung der Gefälle eines Wasserlaufes, so dass die Wasser das Oberland nicht zu rasch durcheilen, dagegen im Unterlande genügend Abfluss vorhanden ist, um ein Übersteigen der Ufer zu verhüten. Die Stromregulierungen sollten daher von unten nach oben vorschreiten, und es sollten nicht die Oberläufe zuerst der Regulierung unterworfen, die vielen Windungen ihres Bettes durchstochen, ihr Überschwemmungsgebiet durch Wasserbauten eingeengt werden, bevor im Unterlande die nötige Vorflut geschaffen ist. Für die Erhaltung eines möglichst hohen Grundwasserstandes ist es am zweckmässigsten, dass die Hochwasser nicht zu rasch aus dem Oberlande abfliessen.

Ausser diesen zeitweisen Zuflüssen aus den Hochwassern wird das Grundwasser im Schwemmlande der unteren Stufe ständig, ohne Unterbrechung gespeist durch die aus den Thälern unterirdisch abfliessenden Grundwasser des obereren Schwemmlandes und durch die unterirdischen Niederschläge zwischen dem Wasserspiegel der Grundwasser der unteren Stufe und der Erdoberfläche, wo die Grundluft immer gesättigt ist. Die Temperaturunterschiede zwischen Aussen- und Grundluft erzeugen eine auf- und absteigende Luftbewegung, wodurch unterirdische Niederschläge infolge Abkühlung der Aussenluft durch die Grundluft oder infolge Abkühlung der Grundluft durch Aussenluft sich ergeben. Diese Niederschläge liefern eine nicht unbeträchtliche Wassermenge, denn die Hohlräume der Alluvialschichten betragen im allgemeinen $^1/_3$—$^1/_4$ des Gesamtinhaltes und die durchschnittliche Tiefe 4—5 m von

der Oberfläche bis zum Wasserspiegel; auf einen Quadratkilometer Oberfläche ergibt dies etwa 1 Million Kubikmeter Luftraum. Bei einem Temperaturunterschiede von + 5° C. und 85% Feuchtigkeit der Luft werden auf jeden Kubikmeter Luftraum 0,0012 kg Wasser bei jedem Niederschlage ausgeschieden; unter einer Oberfläche des Schwemmlandes von 1 Quadratkilometer Ausdehnung demnach 1200 kg = 1,2 cbm Wasser für einen jedesmaligen Niederschlag. Die Ausdehnung des Schwemmlandes von nur einzelnen Stromgebieten zählt aber nach tausenden von Quadratkilometern, und die Niederschläge wiederholen sich infolge des beständigen Luftwechsels fortwährend, weshalb die dadurch dem Untergrunde zugeführte Wassermenge durchaus nicht so geringfügig ist, wie die Gläubigen der Infiltrations- oder Sickertheorie annehmen.

In dem Abschnitte über die Fassung der unterirdischen Gewässer sind die Verhältnisse des Grundwassers im Schwemmlande noch weiter auseinandergesetzt.

Zweiter Abschnitt.

Hydraulik.

Wasserdruck.

Der Druck, der auf jeden einzelnen Punkt einer in einem Behälter enthaltenen Wassermasse ausgeübt wird, besteht:

1. aus dem Luftdruck der Atmosphäre auf den Wasserspiegel = Pa, der sich unter diesem durch die ganze Masse fortsetzt;
2. anderen, äusseren, mechanisch auf das Wasser ausgeübten Pressungen Pm, die sich ebenfalls in der Wassermasse nach allen Richtungen gleichmässig fortpflanzen;
3. aus dem Gewichte der einzelnen Wasserteilchen; die oberen Wasserteilchen lasten mit ihrer Schwere auf den unteren, weshalb die durch Wassergewicht veranlasste Pressung der Wassermasse vom Wasserspiegel abwärts mit der Tiefe

zunimmt. Für jeden einzelnen Punkt einer wagrechten oder Spiegelebene im Innern der Wassermasse ist die Pressung der Tiefe unter dem Oberflächenspiegel entsprechend gleich gross, nämlich gleich dem Gewichte einer Wassersäule, deren senkrechte Höhe gleich der Tiefe H des gedrückten Punktes unter der Oberfläche ist; für eine wagrechte Spiegelfläche von 1,0 qm ist demnach die Gewichtspressung Pg = 1000 . H kg. Da aber die äusseren Pressungen sich gleichmässig in der ganzen Wassermasse fortsetzen, so ist der Gesamtdruck auf 1 qm Tiefenspiegelfläche = Pa + Pm + Pg oder (Pa + Pm) + 1000 . H kg.

Gegen die umschliessenden Gefässwände wirkt der Wasserdruck stets senkrecht auf dieselben, und seine Grösse ist bedingt durch die Grösse der auf die Druckrichtung senkrechten Projektion der Gefässwand. Der Luftdruck der Atmosphäre lastet bei offenen Wasserbehältern nicht nur auf dem Oberflächenspiegel, sondern drückt auch von aussen auf die Gefässwände, so dass der durch das Wasser fortgepflanzte Atmosphärendruck in seiner Wirkung auf die Gefässwand durch den Atmosphärendruck von aussen aufgehoben wird. Ist ferner auch ein mechanischer Druck auf das Wasser nicht vorhanden, so besteht die Pressung der Behälterwände lediglich aus dem der Tiefe unter der Oberfläche entsprechenden, senkrecht auf die Wände gerichteten Drucke des Wassergewichtes, nämlich Pg = F . H. 1000 kg. Der Druck auf 1 qm senkrecht zur Druckrichtung stehender Gefässwand ist 1000 . H kg und auf 1 qcm solcher Fläche = 0,1 . H kg.

Der senkrechte Druck auf den Boden eines Behälters ist immer derselbe, ob der Behälter vom Boden nach oben sich verengt oder erweitert, sowie überhaupt die Form der Seitenwände auf den Bodendruck ohne Einfluss ist; nur die Grösse der Horizontalprojektion F der Bodenfläche, die senkrecht zur mittleren Druckrichtung auf den Boden ist, ist in Verbindung mit der mittleren Wassertiefe H für die Bodenpressung massgebend.

Die mittlere Wassertiefe einer gekrümmten Bodenfläche ist die Tiefe des Schwerpunktes der Bodenfläche unter dem Oberflächenspiegel.

Der Mittelpunkt des Wasserdruckes ist der Schnittpunkt der mittleren Drucklinie mit der zu dieser Drucklinie senkrechten Projektion der Gefässwand. Die mittlere Druckrichtung ist nur dann eine senkrechte, wenn der Schwerpunkt der gedrückten Fläche in die mittlere Drucklinie fällt. Ausserdem ist die mittlere Druckrichtung mehr oder weniger von der Senkrechten abweichend, je nachdem die Gefässwand mehr oder weniger geneigte Lage hat; Diese mittlere Druckrichtung ist nämlich die Resultante aus dem auf eine Fläche wirkenden senkrechten und wagrechten Druck. Sind beide gleich gross, dann ist die mittlere Drucklinie unter einem Winkel von 45^0 geneigt; sind sie jedoch ungleich, dann nähert sich die mittlere Drucklinie mehr der Senkrechten oder Wagrechten, je nachdem der senkrechte oder wagrechte Druck überwiegt. Ist der senkrechte Druck auf eine Gefässwand gleich null, wie dies bei senkrechten Seitenwänden der Fall ist, dann ist die mittlere Druckrichtung wagrecht, und umgekehrt ist sie senkrecht, wenn die Gefässwand oder ihre Projektion wagrecht liegt.

Für senkrechte Ebenen verschiedener Form erhält man die Entfernung x des Druckmittelpunktes unter dem Oberflächenspiegel durch folgende Gleichungen:

1. Für ein Rechteck von der Höhe a, dessen Oberkante in der Höhe des Oberflächenspiegels liegt, ist $x = {}^2/_3\, a$. Liegt aber dessen Oberkante um a_1 unter dem Oberflächenspiegel, dann ist

$$1a)\quad x = \frac{(a + a_1)^3 - a_1{}^3}{(a + a_1)^2 - a_1{}^2}.$$

2. Für eine senkrechte, kreisförmige Ebene vom Halbmesser r und mit dem Abstande des Kreismittelpunktes von dem Oberflächenspiegel a_1 ist 1b) $x = \frac{r^2 + 4(r + a_1)^2}{4 \cdot (r + a_1)}$, und wenn der Scheitelpunkt des Kreises in der Höhe der Wasseroberfläche liegt, ist $x = {}^5/_4\, r$. Der Druckmittelpunkt auf senkrechter Fläche liegt immer tiefer als deren Schwerpunkt, wenn Oberkante der Fläche und Wasseroberfläche zusammenfallen, weil in der auf die Fläche drückenden Wassersäule die Pressungen in deren unteren Hälfte grösser sind als in der oberen Hälfte, so dass der mittlere Druck

der Wassersäule nicht in der Mitte ihrer Höhe, sondern unter derselben liegt

Liegt die gedrückte Ebene geneigt, wie nebenstehende Figur zeigt, und ist dieselbe ein Rechteck von der Länge c und der Breite b, so ist die Gesamtpressung des Wassers gegen die Fläche b . c.

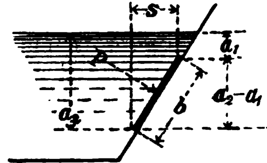


Fig. 2.

2. $P = \frac{b \cdot c \cdot a_2 + a_1}{2} \gamma$ und die

Tiefe des Druckmittelpunktes unter dem Oberwasserspiegel ist

$$1c)\ x = {}^2/_3 \frac{(a_2^3 - a_1^3)}{(a_2^2 - a_1^2)}.$$

Der senkrechte Druck auf die Fläche ist

$$2a)\ p = c \cdot s \cdot \frac{a_2 + a_1}{2} \cdot \gamma$$

der wagrechte Druck

$$2b)\ p_1 = c \cdot a \cdot \frac{a_2 + a_1}{2} \cdot \gamma$$

$\gamma = 1000$ kg wenn alle Masse in Metern.

Liegt die Oberkante des Rechteckes in der Wasseroberfläche, so ist $a_1 = o$.

Die Wand steht senkrecht, wenn $s = o$ wird, und der Horizontaldruck auf die Wand ist

$$2c)\ P = c \cdot \gamma \cdot \frac{a_2^2 - a_1^2}{2} \text{ und } 1d)\ x = {}^2/_3 \frac{a_2^3 - a_1^3}{a_2^2 - a_1^2}.$$

Wenn a_1 gleich Null wird, die Oberkante des Rechteckes also im Oberwasserspiegel liegt, so ist 2d) $P = c \cdot \gamma \cdot \frac{a_2}{2}$ und $x = {}^2/_3\ a$.

Ist die geneigte Druckfläche ein Trapez, dessen parallele Seiten c und d mit dem Wasserspiegel parallel liegen, und bezeichnet a_2 den Abstand der unteren, a_1 den Abstand der oberen Trapezseite vom Oberwasserspiegel, sei auch die Lage des Trapezes eine geneigte, so ist der Abstand des Druckmittelpunktes unter Oberspiegel

$$1e)\ x = \frac{4\,(d \cdot a_2 - c \cdot a_1) \cdot (a_2^3 - a_1^3) + 3\,(c - d) \cdot (a_2^4 - a_1^4)}{6\,(d \cdot a_2 - c \cdot a_1) \cdot (a_2^2 - a_1^2) + 4\,(c - d) \cdot (a_2^3 - a_1^3)}$$

Der Gesamtdruck auf die Trapezfläche ist

$$2e)\ P = \frac{b \cdot \gamma}{6\,(a_2 - a_1)^2} \cdot [3\,(d \cdot a_2 - c \cdot a_1) \cdot (a_2^2 - a_1^2) + 2(c - d) \cdot a_2^3 - a_1^3)]$$

Ist c = d, dann ist aus dem Trapez ein Parallelogramm geworden und es ist

$$2f)\ P = \gamma \cdot c \cdot d \cdot \frac{a_2 + a_1}{2} \text{ und } 1f)\ x = {}^2/_3 \cdot \frac{a_2^3 - a_1^3}{a_2^2 - a_1^2}.$$

Aus dem Trapez wird ein auf der Spitze stehendes Dreieck, wenn c = o wird, und es ist

$$2g)\ P = \gamma \cdot b \cdot d \cdot \frac{a_2^3 + 2\,a_1^3 - 3a^2 \cdot a_1^2}{6 \cdot (a_2 - a_1)^2}$$

$$1g)\ x = \frac{a_2^4 + 3\,a_1^4 - 4\,a_2\,a_1^3}{2\,a_1^3 + 4\,a_2^3 - 6\,a_2\,a_1^2}$$

und es entsteht ein auf der Grundlinie stehendes Dreieck, wenn d = Null wird und

$$2h)\ P = \gamma \cdot b \cdot c \cdot \frac{a_1^3 + 2\,a_2^3 - 3\,a_1 \cdot a_2^3}{6\,(a_2 - a_1)^2}$$

$$1h)\ x = \frac{a_1^4 + 3\,a_2^4 - 4 \cdot a_1 \cdot a_2^3}{2\,a_1^3 + 4\,a_2^3 - 6 \cdot a_1 \cdot a_2^2}.$$

Liegt die Oberseite des Trapezes in gleicher Höhe mit dem Oberwasserspiegel, so ist a_1 = Null und

$$2i)\ P = \gamma \cdot b \cdot a_2 \cdot \frac{d + 2c}{6},\quad 1i)\ x = \frac{a_2\,(d + 3c)}{2d + 4c}.$$

Für das Parallelogramm erhält man in diesem Falle, wenn c = d ist:

$$2k)\ P = \gamma \cdot b \cdot d \cdot \frac{a_2}{2}, \text{ und } 1k)\ x = \frac{2 \cdot a_2}{3}$$

für das auf der Spitze stehende Dreieck, wenn a_1 = o ist:

$$2l)\ P = \gamma \cdot b \cdot d \cdot \frac{a_2}{6}, \text{ und } 1l)\ x = \frac{a_2}{2}$$

und für das auf der Grundlinie stehende Dreieck mit a_1 = o ist

$$2m)\ P = \gamma \cdot b \cdot d \cdot \frac{a_2}{3}, \text{ und } 1m)\ x = \frac{3\,a_2}{4}.$$

Steht die Trapezfläche senkrecht, so ist $b = a_2 - a_1$ und

$$2n)\ P = \frac{\gamma}{6 \cdot b} \cdot [3\,(d \cdot a_2 - c \cdot a_1) \cdot (a_2^2 - a_1^2) + 2\,(c - d)\,(a_2^3 - a_1^3)].$$

Den Wasserdruck in senkrechter oder wagrechter Richtung auf eine Fläche erhält man, wenn man die Projektionsfläche auf eine wagrechte oder senkrechte Ebene mit dem Abstande des Schwerpunktes der gedrückten Fläche und mit 1000 kg (Gewicht von 1 cbm Wasser) multipliziert.

Der senkrecht auf eine ebene Fläche gerichtete Gesamt-Wasserdruck ist das Produkt aus der Grösse dieser Fläche mit der Tiefe ihres Schwerpunktes unter dem Oberwasserspiegel und dem Gewicht von 1 cbm Wasser $= \gamma = 1000$ kg.

Wird eine senkrechte Ebene F auf beiden Seiten von Wasser gepresst, und beträgt der Abstand des Schwerpunktes dieser Fläche von dem Oberflächenspiegel auf der einen Seite a_1, auf der andern Seite a_2 Meter, so ist die Gesamtpressung auf die ganz unter Wasser getauchte Fläche:

$$P = \gamma \,.\, F \,.\, (a_1 - a_2).$$

Da $(a_1 - a_2)$ für jede Tiefe der Untertauchung immer gleichen Wert behält, so gilt dies auch von der Grösse des Wasserdruckes.

Infolge der gleichmässigen Fortpflanzung des Wasserdruckes nach allen Richtungen liegt der Oberwasserspiegel mehrerer durch eine Rohrleitung miteinander verbundener Behälter in einer wagrechten Ebene, solange in der Verbindungsleitung das Wasser sich nicht bewegt. Ebenso zeigt in einer von einem Wasserbehälter ausgehenden Rohrleitung von verschiedener Tieflage das darin ruhig stehende Wasser an jedem Punkte diejenige Druckhöhe, welche der Höhenlage des Oberwasserspiegels im Behälter entspricht; d. h. an jeder Stelle der Rohrleitung würde sich das Wasser in einer senkrechten Rohrleitung genau bis auf die Höhe dieses Wasserspiegels erheben. Die Grösse, d. h. der Fassungsraum des Behälters, ist dabei von gar keinem Einfluss, sondern lediglich die Höhenlage des Oberwasserspiegels darin; ebensowenig hat die Grösse der Ausflussmündung und die Lichtweite der Rohrleitung auf die Druckhöhe der ruhenden Wassermasse einen Einfluss. Denkt man sich die Rohrleitung ohne Anschluss an einen Wasserbehälter, aber ihre beiden Enden als zwei aufwärts gerichtete oben offene Schenkel, so steigt das Wasser bei einer Füllung der Rohrleitung in beiden Schenkeln auf gleiche Höhe, d. h. die Oberflächen-

spiegel in beiden Schenkeln liegen in ein und derselben wagrechten Ebene. Verschiedene Lichtweite der beiden aufwärts gerichteten Schenkel sowohl, als auch von deren Verbindungsleitung, haben dabei keinerlei Einwirkung auf die Steighöhe des Wassers. Wird die obere Öffnung des einen Schenkels durch einen Kolben geschlossen und der Wasserspiegel von dem Kolben belastet mit einem Drucke Pm kg auf ein qm oder $\frac{Pm}{1000} = H$ m Wassersäule, so erhebt sich der Wasserspiegel in dem andern, oben offenen Rohrschenkel um die Höhe H über den unter dem Kolben befindlichen Wasserspiegel. Der atmosphärische Luftdruck auf das

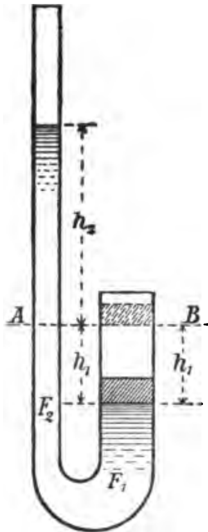


Fig. 3.

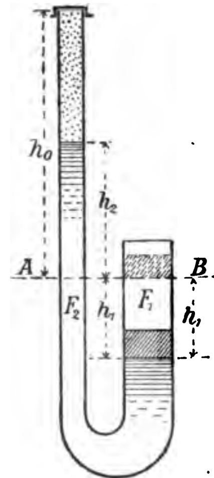


Fig. 3a.

Wasser im offenen Schenkel kommt nicht in Betracht, weil er in gleichem Masse auch auf dem Kolben lastet, also sich gegenseitig aufhebt.

Ist *AB* der anfängliche, gemeinschaftliche Wasserspiegel vor Beginn des Kolbendruckes, h_1 der Niedergang des Kolbens bis der Gleichgewichtszustand erreicht ist und h_2 die Erhebung der Wassersäule über die anfängliche Höhe *AB* zur Herstellung des

Gleichgewichtes gegenüber dem Kolbendrucke $Pm = H$; F_1 der lichte Querschnitt der Kolbenröhre und F_2 der lichte Querschnitt des offenen Schenkels. Es ergeben sich dann folgende Beziehungen:

Die aus dem Kolbenrohre durch den Niedergang des Kolbens verdrängte Wassermenge $F_1 h_1$ muss gleich sein derjenigen der Erhebung in dem offenen Schenkel $= F_2 . h_2$,

also $h_2 = \frac{h_1 . F_1}{F_2}$ und $h_1 = \frac{h_2 . F_2.}{F_1}$ Im Gleichgewichtszustande muss aber auch $H = h_1 + h_2$ sein

$$\text{oder} = (h_1 + \frac{h_1 . F_1}{F_2} = h_1 \frac{(F_2 + F_1)}{F_2}.$$

Daraus erhält man weiter:

$$4) \; h_1 = H . \frac{F_2}{F_1 + F_2} \quad \text{und} \quad 4a) \; h_2 = H . \frac{F_1}{F_1 + F_2}.$$

Je grösser F_1 gegenüber F_2 wird, desto kleiner wird h_1 gegen h_2 und umgekehrt; sind beide Röhren gleich weit, also $F_1 = F_2$, so ist $h_1 = h_2 = {}^1/_2$ H und $H = . 2 h_2$.

Wird der offene Schenkel vor Beginn des Kolbendruckes im anderen Schenkel oben luftdicht verschlossen, so wird durch den danach erfolgenden Kolbendruck die Wassersäule im anderen Rohrschenkel zwar auch gehoben, aber in geringerem Masse, weil die aufsteigende Wassersäule gleichzeitig die im Rohrschenkel nun eingeschlossene Luft auf einen kleineren Raum zusammenpressen muss.

Nach dem Mariotteschen Gesetze verhält sich der Raum J_0, den eine bestimmte Luftmenge von der Pressung Po erfüllt, zu dem Raume J_3 derselben Luftmenge; aber unter der Pressung Pm kg auf ein qm, umgekehrt wie diese Pressungen nämlich $J_0 : J_3 = Pm : Po = Hm : Ho$;

$$5) \; J_3 = \frac{J_0 . Ho}{Hm}$$

Vorausgesetzt ist dabei, dass die Temperatur der eingeschlossenen Luft vor und nach dem Zusammenpressen der Luft dieselbe bleibt, was im allgemeinen bei Wasserleitungen der Fall ist.

Die eingeschlossene Luft hat vor dem Kolbendrucke die Spannung der atmosphärischen Luft, die auch auf dem Kolben

von aussen lastet, und welche gleich dem Drucke einer Wassersäule von 10,333 m = Ho ist. Auf den Kolben wirkt demnach ausser dem mechanischen Drucke Pm = H noch die Atmosphäre, so dass der Gesamtkolbendruck (H + 10,333) m = Hm beträgt, daher erhält man

$$5a)\ J_3 = J_0 \cdot \frac{10,333}{H + 10,333}.$$

Nun hat aber der Kolbendruck Hm nicht nur die Luft zusammenzupressen, sondern gleichzeitig auch die Wassersäule $(h_1 + h_2)$ zu tragen, so dass für die Pressung der Luft nur ein Druck wirksam ist, der gleich $Hm - (h_1 + h_2)$ ist; danach ist dann

$$5b)\ J_3 = J_0 \cdot \frac{10,333}{[H - (h_1 + h_2) + 10,333]};$$

ferner ist auch

$$J_3 = F_2\,(ho - h_2) \text{ und } h_1 = h_2 \cdot \frac{F_2}{F_1},$$

daher

$$F_2 \cdot (ho - h_2) = J_0 \cdot \frac{10,333}{\left[(H + 10,333) - h_2\, \frac{(F_1 + F_2)}{F_1}\right]}.$$

Entwickelt man diese Gleichung weiter, so erhält man

$$h_2 = {}^1/_2 \cdot \left(h_0 + \frac{Hm \cdot F_1}{F_1 + F_2}\right) + \sqrt{{}^1/_4 \cdot \left(h_0 + \frac{Hm \cdot F_1}{F_1 + F_2}\right) - \frac{h_0 \cdot H \cdot F_1}{F_1 + F_2}}.$$

Setzt man $F_2 = n \cdot F_1$ dann ist $\frac{F_1}{F_1 + F_2} = \frac{1}{1 + n}$ und

$$h_2 = {}^1/_2 \left(h_0 + \frac{Hm}{1 + n}\right) + \sqrt{{}^1/_4 \cdot \left(h_0 + \frac{Hm}{1 + n}\right) - \frac{h_0 \cdot H}{1 + n}}.$$

$$6)\ h_2 = {}^1/_2 \cdot \left(h_0 + \frac{10,333 + H}{1 + n}\right) + \sqrt{{}^1/_4\, h_0 + \frac{H}{1 + n} \cdot (2,583\, h_0)}.$$

Man sieht aus dieser Gleichung, dass die absolute Grösse der Lichtweite beider Rohrschenkel auf die Höhe der Wassererhebung h_2 von keinem Einfluss ist, sondern nur das Grössenverhältnis derselben zu einander. Ist h_2 berechnet, so kann man daraus leicht die Grössen der Luftpressung $h_0 - h_2$, und den Kolbenniedergang h_1 bestimmen. Wenn die beiden Rohrschenkel nicht senkrecht, sondern

geneigt aufwärts gerichtet sind, so werden für h_0, h_1 und h_2 die senkrechten Abstände der Wasserspiegel von einander in Rechnung gebracht. Haben beide Rohrschenkel gleiche Lichtweite, dann ist $n = 1$ und

$$6a)\ h_2 = {}^1/_2 \left(h_0 + \frac{10{,}333 + H}{2}\right) + \sqrt{{}^1/_4\, h_0 + \frac{H}{2} . (2{,}583 - h_0)}.$$

Für eine einfache Röhre oder einen Cylinder, die oben luftdicht verschlossen und von unten mit Druckwasser gefüllt werden, ergibt sich folgende Berechnung: anfänglich ist der Cylinder mit Wasser **ohne** Druck bis zur Linie *AB* gefüllt, und darüber mit Luft von der gewöhnlichen Spannung der Atmosphäre. Lässt man nun von unten Wasser eintreten, dessen Druckhöhe, von der Linie *AB* an gerechnet, H Meter beträgt, so wird dies Druckwasser im Cylinder so hoch steigen, bis die Spannung der zusammengedrückten Luft und der Wasserdruck gleich gross sind. Vor der Zusammenpressung ist der lufterfüllte Raum $J_0 = h_0 . F$, nach der Zusammenpressung $J_3 = (h_0 - h_2) . F$ und

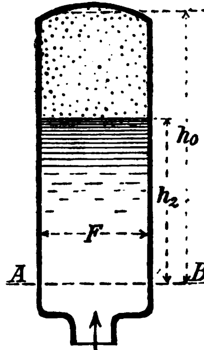


Fig. 4.

$$J_0 : J_3 = (H + 10{,}333 - h_2) : 10{,}333.$$

$$5c)\ J_3 = \frac{10{,}333 . J_0}{(H + 10{,}333) - h_2} = \frac{10{,}333 . F . h_0}{(H + 10{,}333) - h_2}$$

$$\text{und } (h_0 - h_2)\, F = \frac{10{,}333 . F . h_0}{(H + 10{,}333) - h_2}$$

$$h_0 - h_2 = \frac{10{,}333 . h_0}{(H + 10{,}333) - h_2}.$$

Daraus erhält man

$$6b)\ h_2 = {}^1/_2\, [ho + H + 10{,}333] + \sqrt{{}^1/_4\, (ho + H + 10{,}333) - ho . H}$$

$$\text{und } 6c)\ H = \frac{h_2\, (ho + 10{,}333 - h_2)}{ho - h_2}$$

Auf dieselbe Weise kann man für andere Formen eines **Wind- oder Luftkessels** das Mass der Luftpressung bestimmen, indem allgemein gesetzt werden kann

$$J_3 = \frac{10{,}333 \,.\, Jo}{H + 10{,}333 - h_2},\ Jo = ho \,.\, F \text{ und}$$

$J_3 = (ho - h_2) \,.\, F_3$, worin Fo und F_3 die mittlere Querschnittsfläche für Jo und J_3 bezeichnen; ho, h_1, h_2 u. s. w. bezeichnen immer die senkrechten Abstände der betreffenden Wasserspiegel. Findet mit der Zusammenpressung der Luft zugleich eine Temperaturänderung derselben statt, die berücksichtigt werden soll, so ist noch das Gesetz von Gay-Lussac in Anwendung zu bringen, wonach die räumliche Ausdehnung der Luft mit der Temperatur zunimmt. Die Zu- oder Abnahme des Rauminhaltes einer bestimmten Gewichtsmenge Luft beträgt für ein und dieselbe Spannung derselben und für eine Temperaturveränderung von 1° C. das Vielfache von 0,00367 des vorherigen Rauminhaltes.

Bezeichnet man den Rauminhalt einer Luftmenge bei 0° C. mit J_0, bei n Grad C. mit J_n, bei m Grad C. mit J_m, so ist nach Gay-Lussac

$$7)\ J_m = J_0 + 0{,}0067 \,.\, n \,.\, J_0$$

$$7a)\ J_m = J_0 + 0{,}00367 \,.\, m \,.\, J_0.$$

Ändert sich mit der Temperatur zugleich auch die Spannkraft der Luft, so dass sie bei n Grad = hn, bei m Grad = hm

sei, so ist $7b)\ J_n = J_0 \,.\, \frac{ho}{hn} \,.\, (1 + 0{,}00367 \,.\, n)$

$$7c)\ J_m = J_0 \,.\, \frac{ho}{hm} \,.\, (1 + 0{,}00367 \,.\, m) \text{ und}$$

$$7d)\ \frac{J_m}{m} = \frac{hm}{hn} \,.\, \frac{1 + 0{,}00367 \,.\, n}{1 + 0{,}00367 \,.\, m}.$$

Schliesslich sei noch bemerkt, dass der Berechnung des Druckes einer Atmosphäre der Barometerstand von 760 mm und ein spezifisches Gewicht des Quecksilbers von 13,60 zu Grunde gelegt ist, wonach 0,760 . 13,60 = 10,333 m Wassersäule ist.

Auftrieb des Wassers.

Der Auftrieb bewirkt das Schwimmen eines Körpers im Wasser, und die Grösse desselben ist A gleich dem Gewichte des Körpers

und des von demselben beim Schwimmen verdrängten Wassers. Ist Jw der Rauminhalt des verdrängten Wassers, J der Rauminhalt des schwimmenden Körpers und γ_1 das spezifische Gewicht dieses Körpers, so ist dessen Gewicht

$G = J . \gamma_1$; der Auftrieb ist demnach

$$8)\quad A = J . \gamma_1 = Jw . \gamma \text{ und } Jw = J \frac{\gamma_1}{\gamma}.$$

Der beim Schwimmen nicht ins Wasser tauchende Körperteil ist $J - Jw = J\,(1 - \gamma_1)$ und wird um so kleiner, je grösser das spezifische Gewicht des Körpers ist. Wird das spezifische Gewicht γ_1 gleich dem des Wassers $\gamma = 1$, so wird auch $J = Jw$, d. h. der Körper taucht jetzt ganz unter und bleibt in jeder Wasserschicht von dem spezifischen Gewichte $\gamma_1 = \gamma$ schwebend. Wird γ_1 grösser als γ, dann sinkt der Körper auf den Boden des Wasserbehälters.

Wird auf einen schwimmenden Körper noch ein mechanischer Druck F kg von aussen ausgeübt, so ist

8a) $A = J . \gamma_1 + P$ und das verdrängte Wasser hat ein Gewicht

$$Gw = Jw . \gamma = J\gamma_1 + P$$

und da $\gamma = 1$ ist, so ist der aus dem Wasser hervorragende Körperteil $= J - Jw$ oder $J - (J\gamma_1 + P) = J\,(1 - \gamma_1) - P$.

Der eingetauchte Körperteil eines Schwimmers verhält sich zum ganzen Körper wie $\gamma_1 : \gamma$.

Befindet sich ein schwimmender Körper in der Gleichgewichtslage, so liegt der Angriffspunkt des Wasserdruckes in einer Senkrechten, welche durch den Schwerpunkt des Körpers geht.

Die wagrechte Ebene, welche den eingetauchten und den hervorragenden Körperteil begrenzt, bezeichnet man als Schwimmebene; solange die Schwimmebene mit dem Oberflächenspiegel des Wassers zusammenfällt, befindet sich der Schwimmkörper in Gleichgewichtslage, und soll der Körper in Ruhe bleiben, so muss die Kraftrichtung des Auftriebes von unten mit der des Körpergewichtes von oben in eine gerade Linie fallen, welche man die Schwimmachse nennt.

Im Ruhestande steht die Schwimmachse senkrecht auf der Schwimmebene. Wenn eine durch die Schwimmachse gelegte senk-

rechte Ebene den Körper symmetrisch teilt, so schwimmt der Körper aufrecht; andernfalls schwimmt er schief.

Wenn ein Schwimmkörper sich nicht im ruhenden Gleichgewichtsstande befindet, sondern in einer Lage, aus welcher er wieder in seine aufrechte Schwimmlage zurückkehren kann, so bezeichnet man dies als stabiles Gleichgewicht, während man es als labiles bezeichnet, wenn der Körper das Bestreben hat, sich noch mehr von seiner aufrechten Schwimmlage zu entfernen. Im indifferenten Gleichgewicht befindet sich ein Schwimmkörper, wenn er eine Lage hat, worin er weder in die aufrechte Lage zurückzukehren noch von ihr sich zu entfernen strebt.

Wasserbewegung.

Der Druck, unter welchem ruhendes Wasser steht, der hydrostatische Druck, verringert sich, sobald das Wasser in Bewegung kommt, indem ein Teil des Druckes zur Erzeugung der Bewegungsgeschwindigkeit verbraucht wird; der übrig bleibende Teil wird der hydrodynamische Druck genannt.

Die Geschwindigkeit ist die Länge V des Weges, welchen das Wasser in 1 Sekunde zurücklegt; der während Z Sekunden zurückgelegte Weg W ist demnach

$$9)\quad W = V.Z;\quad V = \frac{W}{Z} \text{ und } Z = \frac{W}{Z}.$$

Die Bewegung ist eine gleichmässige, wenn sie sich in stets gleich bleibender Geschwindigkeit vollzieht; sie ist eine gleichmässig veränderte, wenn die Geschwindigkeit nach jeder Zeiteinheit in stets gleichem Masse vermehrt oder vermindert wird. Die Endgeschwindigkeit der ersten Sekunden-Bewegung nach dem Ruhezustande gibt das Mass der Beschleunigung, und die Geschwindigkeitsabnahme der ersten Sekunde einer abnehmenden Bewegung gibt das Mass der Verzögerung einer gleichmässig veränderten Bewegung. Bezeichnet man diese Beschleunigung oder Verzögerung mit $\pm$ E, so ist die Endgeschwindigkeit V_1 nach der Zeit Z, wenn die Geschwindigkeit bei dem Beginne der Verzögerung oder Beschleunigung gleich Va war:

$$10) \begin{cases} V_1 = Va \pm E \,.\, Z \text{ und wenn } Va = o \text{ ist } V_1 = E\,.\,Z \\ W = \frac{Va \pm V_1}{2} \,.\, Z = {}^1/_2 \,.\, [Va\,.\,Z \pm Va\,.\,Z + E\,.\,Z^2]. \end{cases}$$

Daraus erhält man für die gleichmässig beschleunigte Bewegung

10a) $W = Va\,.\,Z + {}^1/_2\,.\,E\,.\,Z^2$ und, wenn $Va = o$ ist: $W = {}^1/_2\,.\,E\,.\,Z^2$

für die gleichmässig verzögerte Bewegung

10b) $W = {}^1/_2\,.\,E\,.\,Z^2$, und wenn V_1 durch die Verzögerung gleich Null werden soll, ist $Va = E\,.\,Z$.

Für die Wasserbewegung kommt hauptsächlich die gleichmässig beschleunigte Bewegung in Betracht, zugleich mit der Beschleunigung der Schwerkraft bei dem freien Falle; diese Beschleunigung wird allgemein mit g bezeichnet, und ihr mittlerer Wert ist 9,81. Demnach ist, wenn $Va = o$,

$$11)\ W = {}^1/_2\,.\,g\,.\,Z^2; \quad Z = \sqrt{\frac{2W}{g}}; \quad V_1 = \sqrt{2g\,.\,W}.$$

Die freie Bewegung des Wassers erfolgt durch die Einwirkung der Schwerkraft in der Weise, dass das Wasser z. B. aus der Öffnung eines Wasserbehälters mit einer solchen Geschwindigkeit ausfliesst, als wenn es im freien Falle von einer Höhe käme, welche gleich ist dem senkrechten Abstande des Schwerpunktes der genannten Öffnung von dem Oberflächenspiegel des Wasserspiegels; die Austrittsgeschwindigkeit des Wassers ist also gleich der Endgeschwindigkeit des freien Falles von der Wasseroberfläche bis zum Schwerpunkt der Öffnung. Ist H die Höhe des Oberflächenspiegels über dieser Öffnung, so ist die Austrittsgeschwindigkeit

$$12)\ V_1 = \sqrt{2g\,.\,H}; \quad H = \frac{V_1^2}{2g}.$$

Wird der Oberflächenspiegel im Wasserbehälter durch Zufluss immer auf derselben Höhe erhalten, so ist auch die Austrittsgeschwindigkeit stets dieselbe. Diese theoretische Geschwindigkeit ist jedoch ein wenig grösser als die wirkliche, und zwar mehr oder weniger verschieden, je nach der Lage und Beschaffenheit der Austrittsöffnung. Das Wasser wird nämlich bei seinem Aus-

flusse durch die Öffnung zusammengedrängt, weshalb der ausfliessende Wasserstrahl gegenüber dem Querschnitt der Öffnung zusammengezogen erscheint; bei diesem Durchdringen des Wassers entsteht ein Druckverlust und infolgedessen eine geminderte Austrittsgeschwindigkeit. Ist der wagrechte Querschnitt des Wasserbehälters im Verhältnis zu dem der Austrittsöffnung sehr gross, was gewöhnlich der Fall ist, und erfolgt der Abfluss am Boden des Behälters durch eine abgerundete Öffnung, so findet kein nennenswerter Geschwindigkeitsverlust statt, und die austretende Wassermenge ist

$$12a)\ M = F \cdot V_1 = F \cdot \sqrt{2g \cdot H},$$

wenn F den Querschnitt der Austrittsöffnung bezeichnet.

Die Schnürung oder Kontraktion des Wasserstrahles ist nur eine teilweise, unvollkommene, wenn sie nicht auf dem ganzen Umfange der Abflussmündung eintritt: dieser Fall tritt ein, wenn das Wasser vor der Mündung im Behälter schon mit grösserer Geschwindigkeit anlangt. Die Schnürung ist dagegen eine vollkommene, wenn das Wasser vor der Abflussmündung im Behälter während des Ablaufes nahezu sich in Ruhe befindet.

Für Abflussöffnungen in der Seitenwand, wie z. B. Schützenöffnungen, deren Querschnitt F im Verhältnis zu demjenigen des Wasserbehälters sehr klein ist, kann man im Mittel annehmen:

$$12c)\ M = 0{,}62 \cdot F \cdot \sqrt{2g \cdot H}.$$

Findet der Abfluss nicht in die freie Luft, sondern unter Wasser statt, so ist für H der Unterschied der Höhenlage des Oberwasser- und Unterwasserspiegels $H_2 - H_1 = H$ einzusetzen. Besteht die Mündung aus einer kegelförmigen, nach innen abgerundeten Ansatzröhre, so kann

$$12d)\ M = 0{,}95 \cdot F \cdot \sqrt{2g \cdot H}$$

werden.

Zur Messung der Wasserlieferung kleinerer Wasserläufe verwendet man häufig Überfälle, welche man durch quer in das Gerinne eingebaute Staubretter herstellt, welche gegen den Boden und die beiden Ufer möglichst gut abgedichtet werden, so dass alles Wasser durch eine in dem Brette ausgeschnittene rechtekige Öffnung abfliessen, d. h. über deren Unterkante ins Unterwasser

fällt. Die Überfallkante ist von oben nach unten abgeschrägt, scharfkantig und genau wagrecht, die Seitenkanten von innen nach aussen abgeschrägt und genau senkrecht, der Wasserquerschnitt des Zuflusses wenigstens das Sechsfache des Produktes aus der Höhe des Wasserspiegels über der Überfallkante = H und der Breite B desselben. Nach Lueger ist die Wassermenge, welche über einen solchen Überfall sich ergiesst, 12d) $M = 1,77 . B . \sqrt{H_3}$, vorausgesetzt, dass die Oberfläche H in einem Abstande von 1,5—2,0 m oberhalb des Wehres gemessen wird, und der Unterwasserspiegel sich mindestens in einer Tiefe gleich 2 . H unter der Überfallkante befindet. In dem Falle, dass die Zuflussrinne gleiche Breite wie der Überfall hat, ist 12e) $M = 1,96 . B . \sqrt{H^3}$.

Die sicherste Messung kleiner Wasserläufe ist die unmittelbare Bestimmung der Wassermenge durch Füllung von geaichten Gefässen. Für Wassermengen bis etwa 1 Sekundenliter genügt ein Messgefäss von 200—300 l Inhalt, wodurch man also den Wasserzufluss während einer Zeitdauer von 5 Minuten messen kann. Die Füllung des Messgefässes wird mit der Uhr in der Hand beobachtet und der Zufluss plötzlich unterbrochen, sobald die Füllung vollständig ist; während dieser Zufluss-Unterbrechung muss der Wasserlauf entweder seitlich in sein unteres Bett oder in einen zweiten Messbehälter abgelenkt werden. Diese Unterbrechung kann durch je 2 Fallschützen, wovon eine sich öffnet, wenn die andere zufällt, oder durch eine Schieberinne bewirkt werden. Durch die Anwendung zweier Messgefässe, wovon eines sich füllt, während das andere entleert wird, kann man die Messdauer nach Belieben ausdehnen, wodurch die Messgenauigkeit wesentlich erhöht wird; und ferner durch Aneinanderreihung mehrerer solcher paarweise angeordneter Messgefässe, kann man auch schon sehr grosse Wasserläufe der Messung ihrer Wasser unterziehen. Die hier beigefügten Skizzen stellen die oben erwähnten Messvorrichtungen in ihren Umrissen dar.

Die Schieberinne besteht aus zwei rechtwinklig zusammengenagelten Brettern, deren Stossfuge mit Moos oder Werg, auch Letten, Pech u. dgl. gedichtet ist; sie kann an beiden Enden oder auch nur an einem Ende offen sein, je nachdem man bei der

Unterbrechung des Zuflusses ins Messgefäss das Wasser nach einer oder nach beiden Seiten in den Unterlauf des Baches überschiessen lassen will. Die Unterbrechung des Wasserzuflusses kann durch Vorschieben der Rinne bis nahe an den Zuflusskanal fast plötzlich

Überfallwehr.

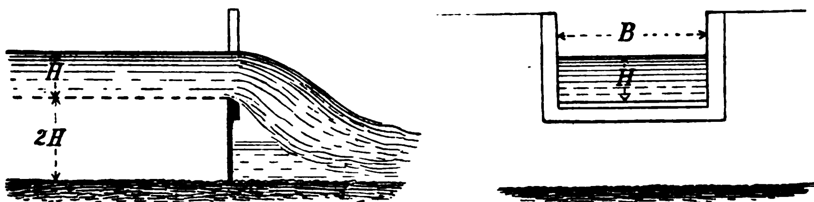


Fig. 5.

Unmittelbare Messung

mit Schieberinne

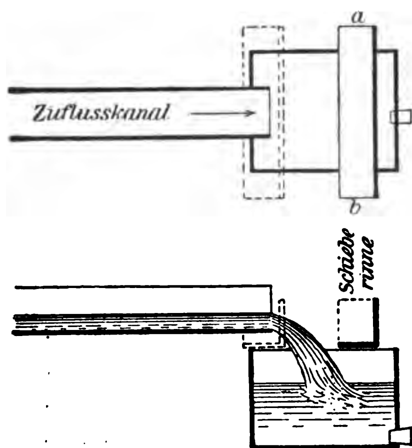


Fig. 6.

mit Fallschütze

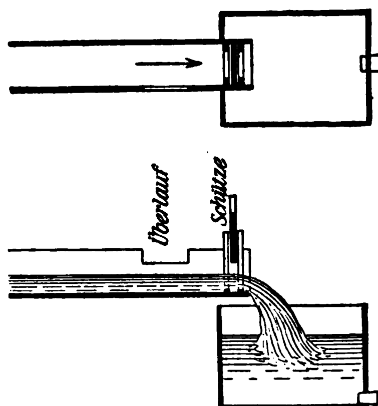


Fig. 7.

geschehen, während gleichzeitig mit der Unterbrechung das aus dem Kanale fortgesetzt fliessende Wasser über die Schieberinne in das untere Bett ablaufen kann.

Wird die Zuflussunterbrechung durch den raschen Schluss einer Fallschütze herbeigeführt, so genügt für den Überlauf in

das untere Bett des Wasserlaufes ein Schlitz in einer oder in beiden Seitenwänden des Zuflusskanales; die Unterkante dieses Überlaufschlitzes liegt nur wenig höher als der Wasserspiegel des Abflusswassers, so dass nach Schluss der Fallschütze ein geringes Steigen des Wasserspiegels im Kanale genügt, um das Wasser zum Überlaufen durch den Schlitz zu bringen. Die paarweise Anordnung der Messgefässe zum abwechselenden Füllen und Entleeren derselben stellen die nächsten Zeichnungen dar.

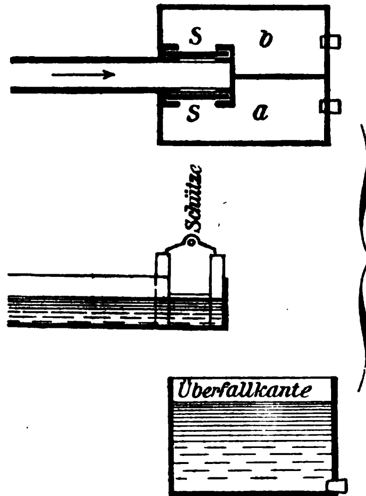


Fig. 8.

Fig. 8 ist eine Anordnung für ein Paar Messgefässe *a* und *b*. Die beiden Schützen sind oben durch einen um eine Achse drehbaren Doppelhebel, eine Art Wagbalken, miteinander der Art verbunden, dass, wenn einer niedergeht, der andere aufgezogen wird. Die beiden Messgefässe sind durch eine Scheidewand von einander getrennt, welche etwas niedriger ist, als die Umfangswände, wodurch das bei der Unterbrechung des Zuflusses etwa noch zulaufende überschüssige Wasser über die Kante dieser Scheidewand in das andere Gefäss fällt und dort mit gemessen wird.

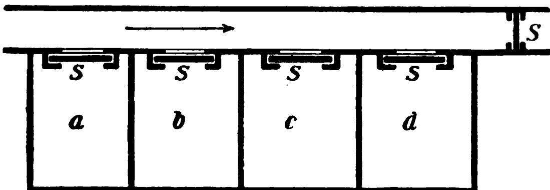


Fig. 9.

Fig. 9 zeigt die Anordnung von 4 Messgefässen, wovon immer je zwei, *a* und *b*, *c* und *d* oder auch *b* und *c* durch Kuppelung der zugehörigen Fallschützen zur abwechselnden Füllung und Ent-

leerung verninigt werden können. Den örtlichen Verhältnissen entsprechend, lassen sich diese Art Messvorrichtungen mit mannigfaltiger Abwechselung anlegen.

Eine Messvorrichtung, die besonders in früheren Zeiten häufig angewendet wurde, besteht darin, dass man den Zuflusskanal durch eine Querwand aus Holz oder Metall sperrt und in diese Wand eine Anzahl gleich grosser Löcher bohrt, die durch Stöpsel verschlossen werden können (siehe Fig. 10).

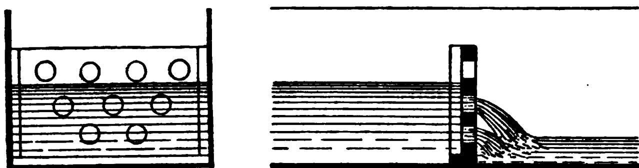


Fig. 10.

Für eine bestimmte Wassermenge, welche der Kanal zuführt, wird eine bestimmte Anzahl Löcher zum Durchfluss des Wassers genügen, wobei zugleich das Wasser immer auf eine bestimmte Höhe hinter der Abschlusswand angestaut wird. Bei ein und derselben Stauhöhe und der gleichen Anzahl offener Löcher muss die Abflussmenge also immer dieselbe sein. Zur Bestimmung dieser Abflussmenge ist der sicherste Weg, wenn man die von jedem einzelnen Loche unter der bestimmten Stauhöhe gelieferte Wassermenge unmittelbar durch Gefässe misst, die Summe dieser Einzelmessungen ergibt den Gesamtabfluss.

Wiederholt man diese Messungen der Löcher für verschiedene Stauhöhen und dieselbe Anzahl offene Löcher, so erhält man dadurch eine sichere Grundlage zur etwa nötigen Berechnung der Abflussmengen für Stauhöhen, wofür Messungen nicht vorliegen. Statt dieser unmittelbaren Messung, wendet man auch folgende Gleichung an zur Berechnung des aus den einzelnen Löchern abfliessenden Wassers, worin H die Höhe des Oberwasserspiegels über Mitte der Öffnung bedeutet.

$$12f)\quad M = 0{,}60 . F . \sqrt{2g . H} = 2{,}6576 . F . \sqrt{H}$$

F = lichter Querschnitt des Loches.

Die alten Brunnenmeister machten die Löcher alle von 1 Zoll Durchmesser, und je nach der Anzahl der Löcher, welche für den Abfluss geöffnet werden mussten, bestand für sie die Gesamtwassermenge in ebensoviel „Wasserzoll".

Diese Art Wassermessung hat den Vorzug, dass man, besonders bei ständigen Messvorrichtungen, durch Öffnung von mehr oder weniger Löchern in der Lage ist, der Ab- und Zunahme des Zuflusses entsprechend die Stauhöhe regeln zu können.

Für schätzungsweise Bestimmung der Wassermenge eines Flussgerinnes, dessen Wasserquerschnitt man annähernd kennt, genügt es, die Oberflächengeschwindigkeit des Wasserlaufes zu messen; das Produkt aus dieser Geschwindigkeit und dem mittleren Flussquerschnitt ergibt die Wassermenge in der Sekunde.

Zur Messung der Stromgeschwindigkeit hat man folgende Instrumente:

1. Schwimmer, welche aus teilweise gefüllten Flaschen, aus Hohlkugeln oder aus einem unten beschwerten Stabe bestehen, welche im Wasser aufrecht und sichtbar schwimmen; aus dem Wege, welchen diese Schwimmer in bestimmter Zeit zurücklegen, erhält man die Stromgeschwindigkeit oder den in einer Sekunde zurückgelegten Weg.

2. Die hydrometrische Winkelröhre, die aus einem kürzeren und längeren Schenkel besteht, beide senkrecht zu einander gerichtet. Der kürzere Schenkel wird wagrecht in den Wasserlauf getaucht, die Öffnung stromaufwärts gerichtet; das in die Röhre getriebene Wasser steigt, der Stärke der Strömung entsprechend, im senkrechten Schenkel auf bestimmte Höhe, welche das Maass der Geschwindigkeit bezeichnet.

3. Das Woltmannsche Flügelrad, dessen durch die Strömung hervorgebrachte Umdrehungen auf ein Zählwerk übertragen werden und so die Geschwindigkeit anzeigen.

4. Flügelräder, welche nach einer bestimmten Umdrehungszahl einen kleinen Hammer in Bewegung gegen einen Metallstab setzen, so dass die Umdrehungszahlen hörbar angezeigt werden; statt auf mechanischem wird bei anderen Vorrichtungen dies Glockensignal auch auf elektrischem Wege gegeben.

Im Vorhergehenden wurde die Bewegung des Wassers durch Öffnungen ins Freie behandelt; in den meisten Fällen ist jedoch die Wasserbewegung keine freie, sondern in offenen Gerinnen oder geschlossenen Leitungen eine durch bestimmte Gesetze beschränkte, deren Bahnen teils durch den Willen der Menschen vorgezeichnet werden. In dem vorliegenden Buche kann es sich nur um die Wasserbewegung in künstlichen Bahnen handeln, welche das Wasser dahin führen, wo es den menschlichen Bedürfnissen dienen kann. Zu diesem Zwecke wird das Wasser durch Kanäle und Rohrleitungen seiner Bestimmung zugeführt, und die Beschaffenheit dieser Leitungen übt einen wesentlichen Einfluss auf die Weiterbewegung aus, d. h. ihre Fähigkeit, das Wasser weiter zu leiten, ist eine sehr verschiedene. Diese Leitungsfähigkeit wird durch die Geschwindigkeit ausgedrückt, mit welcher das Wasser unter einer bestimmten Pressung oder einem Gefälle = H durch eine Leitung zu fliessen vermag. Wenn das Wasser bei seiner Weiterleitung keine Widerstände zu überwinden hätte, so würde die Wassergeschwindigkeit $V = \sqrt{2g \cdot H}$ sein; dies ist jedoch nicht der Fall, weil die Reibung des Wassers an den Wänden der Leitung Widerstände veranlasst, welche die theoretische Geschwindigkeit mindern. Die Grösse dieser Widerstände wächst mit der Grösse der vom Wasser benetzten Wandflächen der Leitung und mit dem Quadrate der Geschwindigkeit. Bezeichnet man mit W den Reibungswiderstand, den das Wasser auf seinem Wege durch eine Leitung von der Länge L zu überwinden hat, und ist F der mittlere Wasserquerschnitt und U der benetzte Umfang der Leitung, so ist $W = h \cdot F$, wenn h die Grösse des Reibungswiderstandes durch die Pressung auf 1 qm bezeichnet, ausgedrückt durch die Höhe einer Wassersäule. Der Reibungswiderstand ist aber auch $W = z \cdot L \cdot U \cdot V^2$, worin z eine Erfahrungszahl bezeichnet, welche von der Rauhigkeit der Leitungswände und dem Durchflussquerschnitte bestimmt wird. Man hat demnach

$$W = h \cdot F = z \cdot L \cdot U \cdot V^2 \text{ voraus.}$$

$$13)\quad h = \frac{z \cdot L \cdot U \cdot V^2}{F};$$

ferner ist $V^2 = 2g\,(H - h)$

$$= 2g \cdot \frac{z \cdot L \cdot U \cdot V^2}{F}$$

daraus erhält man 13a) $V^2 = \frac{2g \cdot H \cdot F}{F + 2g \cdot z \cdot L \cdot U}$.

Den Wert von F im Nenner des obigen Bruches kann man mit Rücksicht auf den gewöhnlich sehr hohen Wert von L vernachlässigen, wodurch man folgende einfache Gleichung erhält:

$$\text{13b)} \left\{ \begin{array}{l} V^2 = \frac{H}{L} \cdot \frac{F}{U} \cdot \frac{1}{z} \\ V = \sqrt{\frac{1}{z}} \cdot \sqrt{\frac{F}{U} \cdot \frac{H}{L}}. \end{array} \right.$$

Bezeichnet man weiter $\sqrt{\frac{1}{z}}$ mit w, so ist

$$\text{13c)}\ V = w \sqrt{\frac{F}{U} \cdot \frac{H}{L}} \text{ und } H = \frac{L \cdot U \cdot V^2}{F \cdot w^2}.$$

Der Wert von w wurde von Eytelwein bestimmt zu

$$\text{14)}\ w = \sqrt{\frac{1}{0{,}000\,386}} = 50{,}93,$$

wobei auf die Rauhigkeit der Leitungswände keine Rücksicht genommen ist.

Nach Darcy und Bazin ist

$$\text{14a)}\ w = \sqrt{\frac{F}{a \cdot F + b \cdot U}},$$

worin a und b Erfahrungszahlen bezeichnen, die entsprechend dem Rauhigkeitsgrade der Leitung verschiedene Werte haben.

Nach Kutter berechnet sich

$$\text{14b)}\ w = \frac{100 \cdot \sqrt{\frac{F}{U}}}{m + \sqrt{\frac{F}{U}}},$$

worin m ebenfalls eine Rauhigkeitszahl bezeichnet. Der Wert von Eytelwein für w mit 50,93 wurde früher allgemein angewendet,

weil man damit unabhängig ist von dem noch zu bestimmenden Wasserquerschnitt F; in der Neuzeit ist hauptsächlich die Kuttersche Formel für w in Gebrauch, welche gestattet, die verschiedenen Rauhigkeitsverhältnisse in Rechnung zu ziehen.

Die Grösse $\frac{F}{U}$ hat im Drange des gelehrten Mystizismus die Bezeichnung „Hydraulische Tiefe" oder „Profilradius" sich erworben; ich werde diesen Quotienten im Folgenden als „Querschnittsverhältnis" Q_v, sowie den Quotienten $\frac{H}{L}$ als „Gefällverhältnis" $= G_v$ bezeichnen. Die Grundgleichung

$$13b)\ V = w \cdot \sqrt{\frac{F}{U} \cdot \frac{H}{L}} \text{ wird danach zu}$$

$$13d)\ V = w \cdot \sqrt{Q_v \cdot G_v}.$$

Die Querschnittsformen der Leitungen sind sehr mannigfaltig und dementsprechend auch die Grösse $\frac{F}{U} = Q_v$, welche nachstehend für die Hauptformen berechnet ist.

1. Der dreieckige Querschnitt.

Er kommt nur bei offenen Leitungen in Anwendung, wie auch die unten folgende Trapezform.

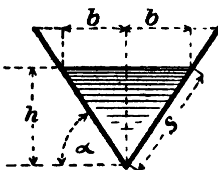


Fig. 11.

$$\frac{F}{U} = \frac{b \cdot h}{2 \cdot s} = \frac{F}{2 \cdot s}$$

$$b = h \cdot \operatorname{cotg} \alpha,\ s = \frac{h}{\sin \alpha};\ h = s \cdot \sin \alpha.$$

$$15)\ \frac{F}{U} = Q_v = \frac{2}{h} \cdot \cos \alpha.$$

Für ein und dieselbe Grösse von s erreicht Q_v seinen grössten Wert, wenn $\alpha = 45^0$ also $\sin \alpha$ und $\cos \alpha = 0{,}70711$ und $Q_v = 0{,}3535 \cdot h$ ist; die beiden Seiten s der Rinne stossen in diesem Falle unter einem rechten Winkel zusammen.

2. Der trapezförmige und rechteckige Querschnitt.

$$F = (b + b_1) \cdot h; \; U = 2 \cdot (s + b_1)$$

$$b_1 = b - h \cdot \operatorname{cotg} \alpha; \; s = \frac{h}{\sin \alpha}$$

$$\frac{F}{U} = \frac{h \cdot (2b - h \cdot \operatorname{cotg} \alpha)}{2 \left[h \left(\frac{1}{\sin\alpha} - \operatorname{cotg} \alpha\right) + b\right]}$$

$$15a) = \frac{h}{2} \cdot \frac{2b \cdot \sin \alpha - h \cdot \cos \alpha}{h\,(1 - \cos \alpha) + b \cdot \sin \alpha}.$$

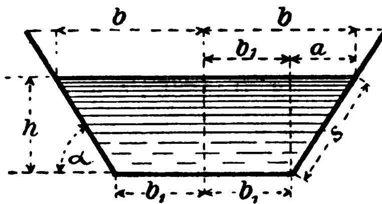


Fig. 12.

Wenn $\alpha = 90^0$ wird, dann ist der Querschnitt ein **Rechteck**, $\sin \alpha = 1{,}0$, $\cos \alpha = 0$, $b_1 = b$ und $s = h$, daher $\frac{F}{U} = \frac{b \cdot h}{b + h}$.

Für $\alpha = 60^0$ ist

$\sin \alpha = 0{,}86603$, $\cos \alpha = 0{,}5$ und $\operatorname{cotg} \alpha = 0{,}5774$;

$b_1 = b - 0{,}5774 \cdot h$, und $s = 1{,}155 \cdot h$

$$\frac{F}{U} = \frac{h}{2} \cdot \frac{1{,}73206 \cdot b - 0{,}5 \cdot h}{0{,}86603 \cdot b + 0{,}5\,h}.$$

und wenn $b = h$ ist, dann wird $\frac{F}{U} = Q_v = \frac{h}{2}$.

Die Böschungsanlage $\frac{a}{h}$ ist für den $\angle = 60^0$: $\alpha\ \frac{a}{h} = 0{,}5774$.

Für den Winkel $\alpha = 45^0$ ist:

$\sin \alpha$ und $\cos \alpha = 0{,}707111$, $\operatorname{cotg} \alpha = 1{,}00$

die Böschungsanlage $\frac{a}{h} = 1{,}00$

$b_1 = b - h$ und $s = 1{,}41 \cdot h$.

$$\frac{F}{U} = Q_v = \frac{h}{2} \cdot \frac{1{,}41422 \cdot b - 0{,}70711 \cdot h}{0{,}70711 \cdot b + 0{,}29289 \cdot h}.$$

Bei einer Böschungsanlage $\frac{a}{h} = 1,5$ wird $\alpha = 33^0\ 41'$ und

$$\sin\alpha = 0,5545,\quad \cos\alpha = 0,8316 \text{ n} .\ \text{cotg}\ \alpha = 1,5$$

$$b_1 = b - 1,5\ .\ h,\quad s = 1,804\ .\ h$$

$$\frac{F}{U} = Q_v = \frac{h}{2} \cdot \frac{1,1088\ .\ b - 0,8316\ .\ h}{0,5544\ .\ b + 0,1684\ .\ h}.$$

Bei einer Böschungsanlage $\frac{a}{h} = 2,0$ ist $\alpha = 26^0\ 32'\ 30''$ und

$$\sin\alpha = 0,44688,\quad \cos\alpha = 0,89376,\quad n . \text{cotg}\ \alpha = 2,0$$

$$b_1 = b - 2 . h,\quad s = 2,238\ .\ h$$

$$\frac{F}{U} = Q_v = \frac{h}{2} \cdot \frac{0,89376\ .\ (b - h)}{0,44688\ .\ b + 0,10624\ .\ h}$$

Ist statt der halben Spiegelbreite b, wie in den vorher aufgezählten Fällen, der Wasserquerschnitt F mit der Wassertiefe h gegeben, so erhält man daraus

$$b = \frac{F}{2\,h} + \frac{h}{2} .\ \text{cotg}\ \alpha \text{ und } b\ .\ \sin\alpha = \frac{h}{2} .\ \cos\alpha + \frac{\sin\alpha\ .\ h\ .\ F}{2}$$

$$b_1 = \frac{F}{2\,h} - \frac{h}{2} .\ \text{cotg}\ \alpha;$$

$$U = 2\ .\ \frac{h}{\sin\alpha} + \frac{F}{h} - \text{cotg}\ \alpha = \frac{F}{2} + h\ .\ \frac{2 - \cos\alpha}{\sin\alpha}$$

$$\frac{F}{U} = Q_v = \frac{\sin\alpha\ .\ h\ .\ F}{h^2\,(2 - \cos\alpha) + \sin\alpha\ .\ F}$$

Für $\alpha = 90^0$ ist $\frac{a}{h} = 0$, $\sin\alpha = 1,0$, $\cos\alpha = 0$ und

$\frac{F}{U} = Q_v = \frac{h\ .\ F}{2\,h^2 + F}$ und wenn $F = 2\,b^2$, dann ist $\frac{F}{U} = \frac{h.}{2}$

Mit einer Böschungsanlage von $\frac{a}{h} = 0,5774$ wobei, $\alpha = 60^0$ wird, erhält man

$$b = 0,2887\ .\ h + \frac{F}{2\,h},\quad b_1 = \frac{F}{2\,h} - 0,2887 . h$$

$$\frac{F}{U} = Q_v = \frac{0,86603\ .\ h\ .\ F}{0,86603\ .\ F + 1,5\,h^2}$$

Mit Böschungsanlage $\frac{a}{h} = 1{,}0$ und $\alpha = 45^0$ ist $b = \frac{h}{2} + \frac{F}{2h}$

und $b_1 = \frac{F}{2h} - \frac{h}{2}$

$$\frac{F}{U} = Q_v = \frac{0{,}70711 \,.\, h \,.\, F}{0{,}70711 \,.\, F + 1{,}29289 \,.\, h^2}.$$

Für Böschungsanlage $\frac{a}{h} = 1{,}5$ mit $\alpha = 33^0\ 41'$ ist

$$b = 0{,}75 \,.\, h + \frac{F}{2h} \text{ und } b_1 = \frac{F}{2h} - 0{,}75\ h$$

$$\frac{F}{U} = Q_v = \frac{0{,}5544\ h \,.\, F}{0{,}5544 \,.\, F + 1{,}1684 \,.\, h^2}.$$

Endlich für Böschungsanlage $\frac{a}{h} = 2{,}0$ mit $\alpha\ 26^0\ 32'\ 30''$ ist

$$b = h + \frac{F}{2h} \text{ und } b_1 = \frac{F}{2 \,.\, h} - h$$

$$\frac{F}{U} = Q_v = \frac{0{,}44688 \,.\, h \,.\, F}{0{,}44688 \,.\, F + 1{,}10624 \,.\, h^2}$$

Den grössten Wert erhält man für Q_v, wenn $b = s = \frac{h}{\sin \alpha}$ wird.

3. Das auf der Spitze stehende Eiprofil.

Diese Querschnittsform wird für geschlossene Kanäle am meisten angewendet; der obere Teil, oder die Haube, bildet einen Halbkreis, während die Sohle und die Wangen aus Kreisbögen bestehen. Die halbe, grösste Breite des Querschnitts ist der Halbmesser der Haube = R, der Halbmesser des Wangenbogens = m . R und derjenige des Sohlenbogens = n . R. Aus Skizze Fig. 13 (S. 88) ist die Konstruktion ersichtlich, und man kann daraus folgende Beziehungen der Hauptmaasse zu einander herleiten:

$$\sin \alpha = \frac{m \,.\, R - R}{m \,.\, R - n \,.\, R} = \frac{m - 1}{m - n};\ h_1 = R\,[n + (m - n) \,.\, \cos \alpha]$$

$$h = m \,.\, R \,.\, \cos \alpha$$

Die unter der Linie *AB* gelegene Sohlenfläche des Querschnitts ist

$$F_s = n^2 . R^2 \left[\alpha . 0{,}017453 - \frac{\sin 2\alpha}{2}\right]$$

der benetzte Umfang dieses Flächenteiles

$$U_s = 2 . n . R . 0{,}017453 . \alpha$$

$$15b)\ \frac{F_s}{U_s} = Q_v = \frac{n . R\,(0{,}017453 . \alpha - {}^1/_2 . \sin 2\alpha)}{0{,}0349 . n . \alpha}$$

Fig. 13.

Der Flächenteil zwischen der Linie *AB* und der Kämpferlinie *KL* ist

$$F_w = R^2 \left[m^2 \left(\frac{\pi\,(90^0 - \alpha)}{180}\right) - (m^2 - 2 . m . n) . \frac{\sin 2\alpha}{2}\right]$$

$$= R^2 \left[m^2 . 0{,}017453 . (90^0 - \alpha) - (m^2 - 2\, m . n) . \frac{\sin 2\alpha}{2}\right]$$

(Bemerkg. $\frac{\pi}{180}$ ist nämlich $= 0{,}017453$)

$$U_w = m . R . 0{,}0349 . (90^0 - \alpha)$$

$$15c)\ \frac{F_w}{U_w} = Q_v = \frac{R\,[0{,}017453 . m^2 . (90^0 - \alpha) - (m^2 - 2m . n) . \frac{\sin . 2\alpha}{2}}{0{,}0349 . m . (90^0 - \alpha)}$$

Die Gesamtfläche unterhalb der Kämpferlinie ist

$$F_s + F_w = R^2 \left[0{,}017453 . \alpha . (m^2 [90^0 - \alpha] + n^2 . \alpha) - \frac{\sin 2\alpha}{2} (m - n)^2\right]$$

$$\text{und } U_s + U_w = 0{,}0349 . R\,[n . \alpha + m\,(90^0 - \alpha)]$$

Die Fläche oberhalb der Kämpferlinie ist für den Teil mit der Höhe α über der Kämpferlinie oder dem Centriwinkel β

$$F_0 = \frac{R^2}{2} [0{,}017453 \,.\, (\beta - 180^0) - \sin \beta]$$

$$U_0 = R \,.\, 0{,}017453\, (\beta - 180^0)$$

$$a = R \,.\, \cos \left(180^0 - \frac{\beta}{2}\right) \text{ und für}$$

den ganzen oberen Flächenteil, den Halbkreis, ist $\frac{\beta}{2} = 180^0$ und $a = R$

$$F_0 = \frac{R^2 \pi}{2} \text{ und } U_0 = R \,.\, \pi$$

Zur Ausführung kommt am häufigsten derjenige Ei-Querschnitt, bei welchem $m = 3$ und $n = 0{,}5$ ist; hieraus ergibt sich weiter

$$\alpha = 53^0, 13 \text{ und } (90^0 - \alpha) = 36^0.87$$

$$\sin \alpha = 0{,}80 \text{ und } \cos \alpha = 0{,}60$$

$$h = 1{,}8 \,.\, R \text{ und } h_1 = 2{,}0 \,.\, R$$

$$F_s = 0{,}25 \,.\, R^2 \,.\, [0{,}017453 \,.\, 53{,}13 - 0{,}48] = 0{,}1118 \,.\, R^2$$

$$F_w = R^2 \,.\, [9 \,.\, 0{,}017453 \,.\, 36{,}87 - 0{,}48\,(6{,}25 - 0{,}25)] = 2{,}9115 \,.\, R^2$$

$$F_s + F_w = 3{,}0233 \,.\, R^2$$

$$U_s = 0{,}92732 \,.\, R \text{ und } U_w = 3{,}86097 \,.\, R$$

$$U_s + U_w = 4{,}78829$$

$$15c)\quad \frac{F_s}{U_s} = \frac{0{,}1118 \,.\, R}{0{,}9273} = 0{,}12 \,.\, R$$

$$15d)\quad \frac{F_s + F_w}{U_s + U_w} = \frac{3{,}0233 \,.\, R}{4{,}78829} = 0{,}63 \,.\, R$$

Die ganze Haubenfläche $F_0 = 1{,}5708 \,.\, R^2$

$$U_0 = 3{,}14159 \,.\, R$$

$$F_s + F_w + F_0 = 4{,}59413 \,.\, R^2 = \text{Gesamtfläche,}$$

$$U_s + U_w + U_0 = 7{,}92989 \,.\, R = \text{Gesamtumfang,}$$

$$15e)\quad Q_v = \frac{F_s + F_w + F_0}{U_s + U_w + U_0} = 0{,}579 \,.\, R.$$

Der Eiquerschnitt wird ausserdem auch noch in anderen Maassverhältnissen angewendet; ist zeitweise die abzuführende Wassermenge nur eine sehr geringe, so macht man zur Erzielung einer grösseren Geschwindigkeit in diesem Falle den Sohlenradius n . R z. B. $^1/_4$. R. Soll dagegen eine grosse Wassermenge durch den

Kanal fiessen und der Kanal nur eine beschränkte Höhe, etwa die zur Begehung erforderliche, erhalten, so kehrt man das Eiprofil um, mit der Spitze nach oben; diese Form ist diejenige, welche gewöhnlich bei Wasserversorgungen zur Verwendung kommt.

4. Der kreisförmige Querschnitt.

Für eine Füllung des Kreisquerschnittes bis zur Höhe *h* über der Mittellinie *MN* ist

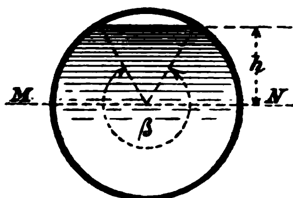


Fig. 14.

$$h = R \,.\, \sin \,.\, \left(\frac{\beta - 180^0}{2}\right)$$

$$F_h = \frac{R^2}{2} \,.\, [0{,}017453 \,.\, \beta - \sin \beta]$$

$$U_h = 0{,}017453 \,.\, R \,.\, \beta;$$

$$15f) \quad \frac{F_h}{U_h} = \frac{R \,.\, [0{,}017453 \,.\, \beta - \sin \beta]}{0{,}034906 \,.\, \beta}$$

Bei ganzer Füllung des Querschnittes wird $h = R$ und $\beta = 360^0$;

$$F = R^2\pi, \; U = 2 \,.\, R \,.\, \pi \text{ und } 15g) \; \frac{F}{U} = \frac{R}{2}.$$

In der Füllung des halben Querschnittes ist $h = 0$ und $\beta = 180^0$;

$$F = \frac{R^2\pi}{2}, \; U = R \,.\, \pi \text{ und } 15g) \; \frac{F}{U} = \frac{R}{2}.$$

Der Wert von Q_v ist also für ganze und halbe Füllung gleich gross, gleich $\frac{R}{2}$.

Mit Hilfe der im Vorhergehenden berechneten Werte von Q_v für die hauptsächlichsten Querschnittsformen kann man nun die darin erreichbare Wassergeschwindigkeit bestimmen, indem man für die Widerstandszahl w noch einen entsprechenden Wert festsellt.

Nach Eytelwein ist $w = 50{,}93$, ohne Rücksicht auf die Rauhigkeit der Rohrwände.

Nach Darcy und Bazin ist

$$w = \sqrt{\frac{F}{a \,.\, F + b \,.\, U}} = \sqrt{\frac{1}{a + \frac{b \,.\, U}{F}}},$$

worin a und b je nach der Beschaffenheit der Kanalwände verschiedene Werte haben, die in nachfolgender Tabelle angeführt sind.

Nach Kutter ist $w = \frac{100 \cdot \sqrt{\frac{F}{U}}}{m + \sqrt{\frac{F}{U}}}$, worin m ebenfalls mit der Natur der Kanalwände sich ändert; die Werte von m sind auch in der Tabelle II enthalten. Ferner enthält die Tabelle II für die Querschnittsverhältnisse $Q_v = 0{,}12 — 0{,}3535 — 0{,}500 — 0{,}573 — 0{,}6086$ und $0{,}683$ die verschiedenen Werte von w.

Entnimmt man dieser Tabelle denjenigen Wert von $w \cdot \sqrt{Q_v}$, welcher einem bestimmten Kanal- oder Rohrschnitt, sowie der Beschaffenheit der Wände entspricht, so ist die Geschwindigkeit V, mit welcher das Wasser unter dem absoluten Gefälle H auf die Weglänge L fliesst. 16) $V = w \cdot \sqrt{Q_v} \cdot \sqrt{\frac{H}{L}}$ und die Wassermenge, welche durch den Querschnitt F damit abgeführt wird, ist

$$16a)\quad M = F \cdot V = w \cdot \sqrt{Q_v} \cdot \sqrt{G_v \cdot F}.$$

Aus obigen Gleichungen erhält man ferner: $V^2 = w^2 \cdot Q_v \cdot G_v$

$$Q_v = \frac{V^2}{w^2 \cdot G_v} \text{ und } G_v = \frac{V^2}{w^2 \cdot Q_v} \cdot H = \frac{L \cdot V^2 \cdot U}{w^2 \cdot F}$$

$$17)\quad M^2 = w^2 \cdot Q_v \cdot G_v \cdot F = w^2 \cdot \frac{F^3}{U} \cdot \frac{H}{L}$$

$$17a)\quad H = \frac{M^2 \cdot L \cdot U}{w^2\, F^3} = \frac{M^2 \cdot L}{w^2 \cdot Q_v \cdot F^2}$$

$$17b)\quad F = \sqrt{\frac{M^2 \cdot L \cdot U}{w^2 \cdot H}} = \sqrt{\frac{M^2 \cdot L}{w^2 \cdot Q_v \cdot H}} = \sqrt{\frac{M^2}{w^2 \cdot Q_v \cdot G_v}}$$

$$17c)\quad L = \frac{H \cdot w^2 \cdot Q_v \cdot F^2}{M^2} \text{ und } G_v = \frac{M^2}{w^2 \cdot Q_v \cdot F}$$

Bei Berechnung des w in dieser Tabelle ist die Kuttersche Gleichung $w = \frac{100 \cdot \sqrt{\frac{U}{F}}}{m + \sqrt{\frac{F}{U}}}$ angewendet.

Der aus der Kutterschen Formel berechnete Wert von w kommt bei kleinen Querschnitten für **glatte** Kanal- und Rohrwände demjenigen von Eytelwein mit 50,93 ziemlich nahe, so dass für so beschaffene Wände auch dieses w ohne grossen Fehler angewendet werden kann. Für rauhe und beschmutzte Wände und besonders für grosse Querschnitte fällt jedoch das w von Kutter bedeutend kleiner aus als 50,93, weil im letztgenannten Werte die Rauhigkeitsverhältnisse nicht berücksichtigt sind; z. B. für einen in Erde gebauten trapezförmigen Kanal sei $Q_v = 0,5 \,.\, h$, dann ist nach der Kutterschen Formel m = 1,5 und

$$w = \frac{100 \,.\, \sqrt{0,5 \,.\, h}}{1,5 + \sqrt{0,5 \,.\, h}} = \frac{70,7 \,.\, \sqrt{h}}{1,5 + 0,707 \,.\, \sqrt{h}};$$

wenn nun h = 1,0 m, dann ist w = 31,7
h = 2,0 m „ „ w = 40,0.

Ist ein solcher Kanal jedoch aus Backsteinmauerwerk mit glatt gefugter Fläche hergestellt, dann ist m = 0,25 und

$$w = \frac{100 \,.\, \sqrt{0,5 \,.\, h}}{0,25 + \sqrt{0,5 \,.\, h}} = \frac{70,7 \,.\, \sqrt{h}}{0,25 + 0,707 \,.\, \sqrt{h}}$$

für eine Tiefe h = 1,0 m ist w = 73,8
h = 2,0 m „ w = 80,0.

Im ersten Falle ist also w nach Kutter beträchtlich kleiner als 50,93; im zweiten Falle dagegen beträchtlich grösser.

Für ein normales Eiprofil von R = 0,50 und Füllung bis Kämpfer ist $Q_v = 0,63 \,.\, R = 0,315$ und für m = 0,25 ist

$$w = \frac{100 \,.\, \sqrt{0,63 \,.\, R}}{0,25 + \sqrt{0,63 \,.\, R}} = \frac{79,373 \,.\, \sqrt{R}}{0,25 + 0,79373 \,.\, \sqrt{R}} = 69,00.$$

Ist R jedoch nur 0,30 m so, ist

$$w = \frac{100 \,.\, \sqrt{0,189}}{0,25 + \sqrt{0,189}} = 63,5.$$

In beiden Fällen ist w nach Kutter berechnet immer grösser als 50,93.

Für eine kreisförmige Röhre von 250 mm Lichtweite ist bei ganzer Füllung

$$Q_v = \frac{R}{2} = \frac{0{,}250}{4} = 0{,}6025 \text{ und}$$

$$w = \frac{100 \cdot \sqrt{0{,}0625}}{0{,}25 + \sqrt{0{,}0625}} = \frac{25}{0{,}50} = 50{,}0$$

also fast ganz gleich dem Eytelweinschen w.

Für kleinere Lichtweiten als 250 mm wird das Kuttersche w immer kleiner und für grössere Lichtweiten als 250 mm immer grösser.

Für die vorkommenden Rohrlichtweiten 200—300 mm Durchmesser und ziemlich glatte Wände würde Eytelweins Erfahrungszahl genügen; für alle andern Fälle jedoch erhält man damit keine Ergebnisse, welche den thatsächlichen Verhältnissen entsprechen. Für alle Fälle, wo das Querschnittsverhältnis $Q_v = \frac{F}{U}$ von vornherein bekannt ist, benützt man daher am zweckmässigsten die Formel von Kutter zur Berechnung von w, wobei die Beschaffenheit der Rohr- und Kanalwände, sowie die Grösse des Wasserquerschnittes genügend berücksichtigt wird. Die Formel von Darcy und Barzin ist für die Rechnung nicht so bequem und ergibt für glatte Wände etwas geringere Werte für w als die von Kutter.

Vor nicht langer Zeit wurde der Eytelweinsche Wert von w = 50,93 in Deutschland für Berechnung von Kanal-Lichtweiten fast allgemein angewendet; da nun z. B. für das normale Eiprofil die Kuttersche Formel einen beträchtlich höheren Wert für w ergibt (63,5—70) als 50,93, so wurden demnach früher die Kanalausmaasse entsprechend grösser gefunden. Aus diesem Umstande konnte jedoch, abgesehen von den grösseren Anlagekosten, ein Nachteil nicht entstehen, sondern es war im Gegenteil damit einer vorschreitenden Beschmutzung oder gar Verschlammung der Kanäle mehr Rechnung getragen als bei einer Dimensionierung nach der Kutterschen Formel. Bei einem Vergleiche des Wertes solcher Erfahrungszahlen muss man auch berücksichtigen, dass die durch die Rechnung gefundenen Ausmaasse von Kanälen und Röhren noch den üblichen Handels- und Ausführungsmaassen entsprechend nach oben abgerundet werden, wodurch im allgemeinen immer etwas grössere Lichtmaasse zur Ausführung kommen, als durch die Rechnung

gefunden wurden. Bei kleinen Unterschieden der Erfahrungszahl braucht man daher in deren Wahl nicht zu ängstlich zu sein.

In Fällen, wo das Querschnittsverhältnis auch nicht annähernd bekannt ist, kann man sich zweckmässig die Ausmasse zunächst mit Hilfe der Eytelweinschen Zahl 50,93 berechnen und diese Annäherungsrechnung dann durch Anwendung der Kutterschen Formel berichtigen; wenn es nötig ist, kann man auch dies Verfahren einige Male zur Erzielung grosser Genauigkeit wiederholen.

Tabelle III enthält die Geschwindigkeiten G und Wassermengen M für Rohrleitungen verschiedener Lichtweiten und verschiedener Gefällverhältnisse Q_v.

In der Tabelle II sind nur die Höchstwerte von $\frac{F}{U}$ für die verschiedenen Profilformen und ihre gewöhnlichen Füllungshöhen berücksichtigt. Der günstigste Wasserquerschnitt ist in dieser Beziehung für das Dreieck und das Rechteck, wenn die halbe Spiegelbreite b der Wassertiefe h gleich ist; für das Trapez, wenn $h = b \, . \sin \alpha$. Den grössten Wert erreicht $\frac{F}{U}$ bei dem normalen Eiquerschnitt, wenn $\beta = 248^1/_2{}^0$ ist, wobei auch die Wassergeschwindigkeit ihren Höchstwert erreicht, während bei einer Füllung mit $\beta = 297^1/_2{}^0$ die grösste Wassermenge durch den Querschnitt fliesst. Im Kreisquerschnitt ist bei einer Füllung mit $= 257^1/_2{}^0$ die Geschwindigkeit, und bei einem $\beta = 308^0$ die Abflussmenge am grössten.

Die Gleichungen für V und M in der Tabelle III sind nach den Grundgleichungen

$$V = w \, . \sqrt{\frac{F}{U} \cdot \frac{H}{L}} \text{ und } M = w \sqrt{\frac{F^3}{U} \cdot \frac{H}{L}} = w \, . \sqrt{\frac{F \, . \, F^2 \, . \, H}{U \, . \, L}}$$

entwickelt, und daraus weiter die Gleichungen für $G_v = \frac{H}{L}$, je nachdem R oder M bekannt ist, sowie umgekehrt die Gleichungen für R je nachdem $\frac{H}{L}$ oder M bekannt ist. Aus obiger Grundgleichung für M erhält man für die verschiedenen Querschnittsformen folgende Gleichungen, die für M in der Tabelle III benutzt wurden:

Dreieck mit $b = h$ und $\alpha = 45^0$

$$\frac{F}{U} = \frac{h}{2} \cdot \cos\alpha = 0{,}3535 \cdot h$$

$$F = h^2 \text{ und } M = w \cdot \sqrt{\frac{0{,}3535 \cdot h^5 \cdot H}{L}}$$
$$= 0{,}594 \cdot w \cdot \sqrt{h^5 \cdot G_v}$$

Trapez mit $h = b \cdot \sin\alpha$; $b = \frac{h}{\sin\alpha}$; $b_1 = \frac{h}{\sin\alpha} \cdot (1 - \cos\alpha)$

$$\frac{F}{U} = \frac{h}{2};\ F = \frac{h^2}{\sin\alpha} \cdot (2 - \cos\alpha)$$

$$M = w \cdot \sqrt{\frac{h}{2} \cdot h^4 \left(\frac{2 - \cos\alpha}{\sin\alpha}\right)^2 \cdot G_v}$$
$$= 0{,}70711 \cdot w \cdot \left(\frac{2 - \cos\alpha}{\sin\alpha}\right) \cdot \sqrt{h^5 \cdot G_v}.$$

Ebenso entwickeln sich die Gleichungen für das M des Ei- und Kreisquerschnittes; indem man in obige Hauptgleichung $M = w \cdot \sqrt{\frac{F}{U} \cdot F^2 \cdot G_v}$ die früher schon für $\frac{F}{U}$ und F berechneten Werte einsetzt. Der Gebrauch der Tabellen II und III ergibt sich aus der Einrichtung derselben von selbst und bedarf keiner weiteren Erläuterungen durch Ausrechnung von Beispielen.

Die ausgedehnteste Verwendung finden die kreisförmigen Rohrquerschnitte und dann die Eiquerschnitte; es ist deshalb noch die Tabelle III hier beigefügt, worin für die in der Praxis üblichen Lichtweiten von Röhren und häufig vorkommenden Gefällverhältnisse gleich die entsprechendan Zahlenwerte der daraus sich ergebenden Geschwindigkeiten und Abflussmengen aufgeführt sind. Für die gewöhnlichen Fälle der Praxis sind damit alle Beziehungen zwischen V, M und G_v sofort ziffernmässig zu erkennen und deren Grösse nach Lage der gegebenen Verhältnisse leicht zu bestimmen. Das Gefälle H auf die Leitungslänge L bedeutet zugleich den Druckaufwand oder Druckverlust zur Überwindung der Widerstände beim Abflusse auf diese Länge. Mit Hilfe der Tabelle III sind alle bei Rohrleitungsanlagen nötigen Rechnungen leicht und schnell zu bewirken.

Tabelle

Über die Werte der Rauhigkeitszahl m, der Widerstandszahl w

	Form und Beschaffenheit des lichten Querschnittes	m	Die Werte: 0,3535 h	Die Werte: $\begin{cases} 0{,}500 \text{ h} \\ 0{,}500 \,.\, \text{R} \end{cases}$
Kreisbogenförmig	Glatter Cementverputz und ganz reine Wandfläche	0,12	$\frac{\sqrt{h}}{0{,}00202 + 0{,}01\sqrt{h}}$	$\frac{\sqrt{h}}{0{,}0017 + 0{,}01\sqrt{h}}$
Kreisbogenförmig	Gewöhnlicher Cementverputz, glasierte Thonröhren u. reine asphaltierte Eisenröhren .	0,15	$\frac{\sqrt{h}}{0{,}00252 + 0{,}01\sqrt{h}}$	$\frac{\sqrt{h}}{0{,}00212 + 0{,}01\sqrt{h}}$
Geradlinige Querschnittsformen.	Gut gefügte und gehobelte Bretter, Cement-, Thon- und Eisenröhren	0,20	$\frac{\sqrt{h}}{0{,}00336 + 0{,}01\sqrt{h}}$	$\frac{\sqrt{h}}{0{,}00282 + 0{,}01\sqrt{h}}$
Geradlinige Querschnittsformen.	Gutes Backstein- und Quadermauerwerk, nicht ganz glatte Cement-, Thon- und Eisenröhren; rauhe Bretter . .	0,25	$\frac{\sqrt{h}}{0{,}00421 + 0{,}01\sqrt{h}}$	$\frac{\sqrt{h}}{0{,}00353 + 0{,}01\sqrt{h}}$
Geradlinige Querschnittsformen.	Gewöhnliches Backsteinmauerwerk und Bohlenwände . .	0,34	$\frac{\sqrt{h}}{0{,}00572 + 0{,}01\sqrt{h}}$	$\frac{\sqrt{h}}{0{,}00481 + 0{,}01\sqrt{h}}$
Geradlinige Querschnittsformen.	Mauerwerk aus gespitzten Steinen	0,45	$\frac{\sqrt{h}}{0{,}00757 + 0{,}01\sqrt{h}}$	$\frac{\sqrt{h}}{0{,}00636 + 0{,}01\sqrt{h}}$
Geradlinige Querschnittsformen.	Bruchsteinmauerwerk mit Verputz und etwas schlammiger Sohle	0,55	$\frac{\sqrt{h}}{0{,}00926 + 0{,}01\sqrt{h}}$	$\frac{\sqrt{h}}{0{,}00778 + 0{,}01\sqrt{h}}$
Geradlinige Querschnittsformen.	Rauhes Mauerwerk mit schlammiger Sohle	0,75	$\frac{\sqrt{h}}{0{,}0127 + 0{,}01\sqrt{h}}$	$\frac{\sqrt{h}}{0{,}0106 + 0{,}01\sqrt{h}}$
Geradlinige Querschnittsformen.	Älteres Mauerwerk mit schlammiger Sohle	1,0	$\frac{\sqrt{h}}{0{,}0168 + 0{,}01\sqrt{h}}$	$\frac{\sqrt{h}}{0{,}0141 + 0{,}01\sqrt{h}}$

Bemerkung: h bezeichnet die Wassertiefe der geradlinigen Querschnittsformen für
eines eiförmigen Querschnittes oder

II.

für verschiedene Querschnittsverhältnisse $Q_v = \frac{F}{U}$.

von w für Q_v =

0,12 R	0,573 R	0,683 R	0,6086 . R
$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00346 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00158 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00145 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00154 + 0{,}01\sqrt{R}}$
$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00433 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00198 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00181 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00192 + 0{,}01\sqrt{R}}$
$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00577 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00264 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00242 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00256 + 0{,}01\sqrt{R}}$
$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00721 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00330 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00302 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00313 + 0{,}01\sqrt{R}}$
$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00981 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00450 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00411 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00436 + 0{,}01\sqrt{R}}$
$\frac{\sqrt{R}}{0{,}0130 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00594 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00545 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00577 + 0{,}01\sqrt{R}}$
$\frac{\sqrt{R}}{0{,}0158 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00726 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00666 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00705 + 0{,}01\sqrt{R}}$
$\frac{\sqrt{R}}{0{,}0216 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00990 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00908 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}00961 + 0{,}01\sqrt{R}}$
$\frac{\sqrt{R}}{0{,}0288 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}0132 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}0121 + 0{,}01\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{R}}{0{,}0128 + 0{,}01\sqrt{R}}$

die auf Tabelle I dafür angegebenen Füllungshöhen; R ist der Halbmesser der Haube derjenige einer kreisförmigen Röhre.

Tabelle

Grösse der Geschwindigkeiten G und der Wassermengen M für verschiedene

Der Berechnung untenstehender Werte ist die Rauhigkeits-

G = Meter,

Gefällverhältnis bezogen auf		Lichtweite in Milli-										
		40		50		60		70		80		100
1 m Gefälle	1 m Länge	G	M	G	M	G	M	G	M	G	M	G
1:10	0,10000	0,90	1,1	1,09	2,10	1,21	3,60	1,45	5,6	1,61	8,1	1,94
1:15	0,06667	0,74	0,9	0,89	1,80	1,04	2,90	1,18	4,5	1,32	6,6	1,58
1:20	0,05000	0,64	0,8	0,77	1,50	0,90	2,60	1,03	3,9	1,14	5,7	1,37
1:25	0,04000	0,57	0,7	0,69	1,4	0,81	2,30	0,92	3,50	1,02	5,1	1,22
1:30	0,03333	0,52	0,7	0,63	1,2	0,74	2,10	0,84	3,20	0,93	4,70	1,12
1:35	0,02857	0,48	0,6	0,59	1,1	0,68	1,9	0,77	3,00	0,86	4,3	1,03
1:40	0,02500	0,45	0,6	0,55	1,0	0,64	1,8	0,72	2,8	0,81	4,1	0,97
1:45	0,02222	0,43	0,5	0,52	1,0	0,60	1,70	0,68	2,6	0,76	3,8	0,91
1:50	0,02000	0,40	0,5	0,49	0,9	0,57	1,6	0,65	2,5	0,72	3,6	0,87
1:60	0,01667			0,45	0,9	0,52	1,5	0,59	2,3	0,66	3,3	0,79
1:70	0,01429			0,41	0,8	0,48	1,4	0,55	2,1	0,61	3,1	0,73
1:80	0,01250					0,45	1,3	0,51	2,0	0,57	2,9	0,68
1:90	0,01111					0,43	1,2	0,48	1,9	0,54	2,7	0,65
1:100	0,01000					0,40	1,1	0,46	1,8	0,51	2,6	0,61
1:125	0,00800							0,41	1,6	0,46	2,3	0,55
1:150	0,00667									0,42	2,1	0,50
1:175	0,00571											0,46
1:200	0,00500											0,43
1:225	0,00444											0,41
1:250	0,00400											
1:275	0,00364											
1:300	0,00333											
1:325	0,00308											
1:350	0,00286											
1:375	0,00267											
1:400	0,00250											
1:450	0,00222											
1:500	0,00200											
1:600	0,00167											
1:700	0,00143											
1:800	0,00125											
1:900	0,00111											
1:1000	0,00100											
1:1200	0,00083											
1:1400	0,00071											
1:1600	0,00062											
1:1800	0,00056											
1:2000	0,00050											

III.

Rohrleitungen und Gefällverhältnisse nach der Kutterschen Formel.

zahl m = 0,25 zu Grunde gelegt, und $w = \dfrac{100 \cdot \sqrt{\dfrac{F}{U}}}{0,25 + \sqrt{\dfrac{F}{U}}}$.

M = Sekundenliter.

metern = D = 2R.

100	125		150		175		200		225		250	
M	G	M	G	M	G	M	G	M	G	M	G	M
15,2	2,31	28,4										
12,4	1,89	23,2	2,19	38,6								
10,8	1,64	20,1	1,89	33,4	2,13	51,3						
9,6	1,46	18,00	1,69	29,9	1,91	45,9	2,11	66,20				
8,8	1,34	16,40	1,55	27,3	1,74	41,9	1,92	60,4	2,11	83,8		
8,1	1,24	15,2	1,43	25,2	1,61	38,8	1,78	55,9	1,95	77,6	2,11	103,7
7,6	1,16	14,2	1,34	23,6	1,51	36,3	1,67	52,3	1,83	72,6	1,98	97,0
7,2	1,09	13,4	1,26	22,3	1,42	34,2	1,57	49,3	1,72	68,4	1,86	91,4
6,8	1,04	12,7	1,20	21,1	1,40	32,4	1,49	46,8	1,63	64,9	1,77	86,8
6,2	0,95	11,6	1,09	19,3	1,23	29,6	1,36	42,7	1,49	59,3	1,61	79,2
5,8	0,88	10,7	1,01	17,9	1,14	27,4	1,26	39,5	1,38	54,9	1,49	73,8
5,4	0,82	10,0	0,95	16,7	1,07	25,6	1,18	37,0	1,29	51,3	1,40	68,6
5,1	0,77	9,5	0,89	15,8	1,01	24,2	1,11	34,9	1,22	48,4	1,32	64,7
4,8	0,73	9,0	0,85	14,9	0,95	22,9	1,05	33,1	1,16	45,9	1,25	61,3
4,3	0,65	8,0	0,76	13,4	0,85	20,5	0,94	29,6	1,03	41,1	1,12	54,9
3,9	0,60	7,3	0,69	12,2	0,78	18,7	0,86	27,0	0,94	37,5	1,02	50,1
3,6	0,55	6,8	0,64	11,3	0,72	17,3	0,80	25,0	0,87	34,7	0,95	46,4
3,4	0,52	6,4	0,60	10,6	0,67	16,2	0,75	23,4	0,82	32,5	0,88	43,4
3,2	0,49	6,0	0,56	10,0	0,64	15,3	0,70	22,1	0,77	30,6	0,83	40,9
	0,46	5,7	0,54	9,5	0,60	14,5	0,67	20,9	0,73	29,0	0,79	38,8
	0,44	5,4	0,51	9,0	0,58	13,8	0,64	19,9	0,70	27,7	0,75	37,0
	0,42	5,2	0,49	8,6	0,55	13,2	0,61	19,1	0,67	26,5	0,72	35,4
	0,41	5,0	0,47	8,3	0,53	12,7	0,58	18,3	0,64	25,5	0,69	34,0
			0,45	8,0	0,51	12,3	0,56	17,7	0,62	24,5	0,67	32,8
			0,44	7,7	0,49	11,8	0,54	17,1	0,60	23,7	0,65	31,7
			0,42	7,5	0,48	11,5	0,53	16,5	0,58	23,0	0,63	30,7
			0,40	7,0	0,45	10,8	0,50	15,6	0,54	21,6	0,59	28,9
					0,43	10,3	0,47	14,8	0,52	20,5	0,56	27,4
					0,39	9,4	0,43	13,5	0,47	18,7	0,51	25,0
							0,40	12,5	0,44	17,4	0,47	23,2
									0,41	16,2	0,44	21,7
											0,42	20,4
											0,40	19,4

Fortsetzung der

Gefällverhältnis bezogen auf		Lichtweite in Milli-										
		275		300		350		400		450		500
1 m Gefälle	1 m Länge	G	M	G	M	G	M	G	M	G	M	G
1:10	0,10000											
1:15	0,06667											
1:20	0,05000											
1:25	0,04000											
1:30	0,03333											
1:35	0,02857											
1:40	0,02500											
1:45	0,02222	2,00	118,8									
1:50	0,02000	1,90	112,7	2,03	143							
1:60	0,01667	1,73	102,9	1,85	131	2,07	199					
1:70	0,01429	1,60	95,3	1,71	121	1,92	184	2,11	266			
1:80	0,01250	1,50	89,1	1,60	113	1,79	172	1,98	248			
1:90	0,01111	1,42	84,0	1,51	107	1,69	163	1,86	234	2,03	322	
1:100	0,01000	1,34	79,7	1,43	101	1,60	154	1,77	222	1,92	306	2,07
1:125	0,00800	1,20	71,3	1,28	91	1,43	138	1,58	199	1,72	273	1,85
1:150	0,00667	1,10	65,1	1,17	83	1,31	126	1,44	181	1,57	250	1,69
1:175	0,00571	1,02	60,3	1,08	77	1,21	117	1,34	168	1,45	231	1,57
1:200	0,00500	0,95	56,4	1,01	72	1,13	109	1,25	157	1,36	216	1,47
1:225	0,00444	0,90	53,1	0,96	68	1,07	103	1,18	148	1,28	204	1,38
1:250	0,00400	0,85	50,4	0,91	64	1,01	98	1,12	141	1,22	193	1,31
1:275	0,00364	0,81	48,1	0,86	61	0,97	93	1,07	134	1,16	184	1,25
1:300	0,00333	0,78	46,0	0,83	58	0,93	89	1,02	128	1,11	176	1,20
1:325	0,00308	0,75	44,2	0,79	56	0,89	86	0,98	123	1,07	170	1,15
1:350	0,00286	0,72	42,6	0,77	54	0,86	82	0,95	119	1,03	163	1,11
1:375	0,00267	0,69	41,2	0,74	52	0,83	80	0,91	115	0,99	158	1,07
1:400	0,00250	0,67	39,9	0,72	51	0,80	77	0,88	111	0,96	153	1,04
1:450	0,00222	0,63	37,6	0,68	48	0,76	73	0,83	105	0,91	144	0,98
1:500	0,00200	0,60	35,7	0,64	45	0,72	69	0,79	99	0,86	137	0,93
1:600	0,00167	0,55	32,5	0,59	41	0,65	62	0,72	91	0,78	125	0,85
1:700	0,00143	0,51	30,2	0,54	38	0,61	58	0,67	84	0,73	116	0,78
1:800	0,00125	0,48	28,2	0,51	36	0,57	55	0,63	79	0,68	108	0,73
1:900	0,00111	0,45	26,6	0,48	34	0,53	51	0,59	74	0,64	102	0,69
1:1000	0,00100	0,42	25,2	0,45	32	0,51	49	0,56	70	0,61	97	0,66
1:1200	0,00083	0,39	23,0	0,41	29	0,46	45	0,51	64	0,56	88	0,60
1:1400	0,00071			0,38	27	0,43	41	0,47	59	0,51	82	0,55
1:1600	0,00062					0,40	39	0,44	56	0,48	76	0,52
1:1800	0,00056							0,42	52	0,45	72	0,49
1:2000	0,00050							0,40	50	0,43	68	0,46

Tabelle III.

metern = D = 2R.

500	600		700		800		900		1000		1200	
M	G	M	G	M	G	M	G	M	G	M	G	M
407												
364	2,11	595										
332	1,92	544	2,14	823								
307	1,78	503	1,89	762								
288	1,67	471	1,85	713	2,03	1019						
271	1,57	444	1,75	672	1,91	960	2,07	1317				
257	1,49	421	1,66	637	1,81	911	1,97	1250				
245	1,42	401	1,58	608	1,73	869	1,87	1192	2,01	1579		
235	1,36	384	1,51	582	1,66	832	1,79	1141	1,93	1512		
226	1,31	369	1,45	559	1,59	799	1,72	1096	1,85	1453		
217	1,26	356	1,40	539	1,53	770	1,66	1056	1,78	1400	2,01	2278
210	1,22	344	1,35	520	1,48	744	1,60	1021	1,72	1352	1,95	2200
203	1,18	333	1,31	504	1,43	720	1,55	988	1,67	1309	1,88	2131
192	1,11	314	1,23	475	1,35	679	1,46	932	1,57	1235	1,78	2009
182	1,05	298	1,17	451	1,28	674	1,39	884	1,49	1171	1,69	1906
166	0,96	272	1,07	411	1,17	588	1,27	807	1,36	1069	1,54	1740
154	0,89	252	0,99	381	1,08	545	1,17	747	1,26	990	1,42	1611
144	0,83	235	0,93	356	1,01	509	1,10	699	1,18	926	1,33	1507
136	0,79	222	0,87	336	0,96	480	1,04	659	1,11	873	1,26	1420
129	0,75	211	0,83	319	0,91	456	0,98	625	1,06	828	1,19	1348
117	0,68	192	0,76	291	0,83	416	0,90	571	0,96	756	1,09	1230
109	0,63	178	0,70	269	0,77	385	0,83	528	0,89	700	1,01	1139
102	0,59	166	0,66	252	0,72	360	0,78	494	0,83	655	0,94	1065
96	0,56	157	0,62	238	0,68	340	0,73	466	0,79	617	0,89	1004
91	0,53	149	0,59	225	0,64	322	0,70	442	0,75	586	0,84	953

Dritter Abschnitt.

Wasserbedarf.

Wasserbedarf für Haus- und gewerbewirtschaftliche, sowie für öffentliche Zwecke.

Der Wasserbedarf ist örtlich sehr verschieden, je nach der Grösse und Dichtigkeit der Bevölkerung, deren Beschäftigung und Wohlstand, weshalb für jeden Ort die Wasserversorgung desselben andere Ansprüche stellt. Der **hauswirtschaftliche Bedarf** zum Trinken, Kochen und Reinigen ist der bedeutsamste, da die reichliche Verwendung von gutem Wasser zu diesen Zwecken den Gesundheitsverhältnissen der Bevölkerung in grossem Masse förderlich ist.

Nach den Erfahrungen, die bis heute über den Wasserverbrauch in Städten gewonnen wurden, kann man für Hauswirtschafts-Bedürfnisse folgende Wassermengen annehmen, für den Kopf der Bevölkerung und für jeden Tag:

1.	Zum Trinken, Kochen, Spülen, Reinigen der Wohnräume, Wäschereinigung	40 Liter
2.	Für eine einmalige Abortspülung	10 „
3.	„ ein Wannenbad	350 „
4.	„ ein Brausebad	25 „

Danach lässt sich für jeden Ort, den Gewohnheiten und Bedürfnissen der Bevölkerung entsprechend, der hauswirtschaftliche Kopfverbrauch in 24 Stunden feststellen.

Der Gesamtverbrauch ergibt sich dann aus der Bevölkerungszahl des Ortes mit Berücksichtigung der voraussichtlichen künftigen Vermehrung der Bevölkerung. Die Grösse des **Wachstums der Bevölkerung** ist von so vielen örtlichen Verhältnissen abhängig, dass darüber nur von den damit vertrauten Personen eine einigermassen richtige Beurteilung aufgestellt werden kann. Die sprungweise Bevölkerungszunahme durch Anlage neuer Verkehrswege entzieht sich jeder Berechnung; die stetige, in geometrischem Verhältnis stattfindende Vermehrung lässt sich auf eine bestimmte Reihe von Jahren voraus berechnen, wenn man sich über den

jährlichen Zuwachs in Prozenten der Bevölkerungszahl durch Erhebungen bezüglich dieses Zuwachses in der letztvergangenen Zeit einige Gewissheit verschafft. Bezeichnet

E die gegenwärtige Einwohnerzahl,

En die Einwohnerzahl nach

n Jahren, wenn

p der Jahreszuwachs in Prozenten ist, so erhält man folgende Gleichungen zur Berechnung der einzelnen Grössen:

$$18)\quad \begin{cases} En = E \,.\, (1 + 0{,}01 \,.\, p)^n\,; \\ p = 100 \left(\sqrt[n]{\dfrac{En}{E}} - 1\right); \\ n = \dfrac{\log En - \log E}{\log (1 + 0{,}01 \,.\, p)}. \end{cases}$$

Die Anlage einer Wasserversorgung soll natürlich nicht bloss den augenblicklichen Bedürfnissen, sondern auch noch einer mässig bemessenen Zukunft genügen, es ist daher ein bestimmter Bevölkerungszuwachs zu berücksichtigen. Dabei muss man unterscheiden zwischen solchen Teilen der Anlage, die eine Erhöhung ihrer Leistungsfähigkeit jeder Zeit nach Bedürfnis ermöglichen ohne wesentliche Kostenvermehrnng gegenüber einer gleich anfänglich angenommenen erhöhten Leistung, und solchen Anlageteilen, die später nur mit Aufwand grosser Kosten erhöhte Leistungsfähigkeit erhalten können. Pumpwerke z. B. lassen sich bei grösseren Anlagen durch Hinzufügung neuer Pumpen ohne Schwierigkeit und ohne grosse Kostenvermehrung in ihrer Leistung verstärken, wenn nur genügend Raum für sie vorgesehen war; eine lange Zuleitung verursacht schon erhebliche Kosten, wenn die anfänglich gelegte Leitung wegen zu geringer Lichtweite die erforderliche Wassermenge mit dem vorhandenen Gefälle nicht mehr zu liefern vermag. Beabsichtigt man eine Anlage mit genügender Leistung für einen bestimmten Zuwachs von vornherein herzustellen, so ist es zweckmässig, diese erhöhte Zukunftsleistung nicht so weit auszudehnen, dass mit den Jahren durch die Zinsen für das vorläufig nicht nutzbar aufgewendete Baukapital die durch eine spätere Verstärkung der Leistung erwachsenden Mehrkosten nicht überstiegen werden. Dieser Fall tritt sehr leicht ein für Orte mit rasch zunehmender

Bevölkerung; für grosse Städte, wo der Bevölkerungszuwachs besonders durch Angliederung neuer Strassen und Stadtteile sich ergibt, ist es vorteilhaft, die Anlage in *Versorgungsgruppen* zu zerlegen, wovon jede Gruppe für sich, je nach dem wachsenden Bedürfnisse, zum Ausbaue kommt, und auch mit den schon ausgebauten in Verbindung gebracht wird zu etwaiger gegenseitiger Unterstützung. Das *Gruppensystem* gestattet eine anfängliche Anlage, die nicht zu sehr mit schwerem Kostenaufwand für künftige Möglichkeiten belastet ist.

Nächst dem hauswirtschaftlichen hat der *öffentiche Wasserverbrauch* für die Gesundheitsverhältnisse eines Ortes eine hohe Bedeutung; Strassen und Plätze können reichlich besprengt und abgespült, die Schmutzwasser-Kanäle kräftig durchspült und so aller Unrat möglichst rasch aus den Städten entfernt werden; ausserdem kommt noch die Verwendung des Wassers zu Löschzwecken, zu öffentlichen Aborten und öffentlichen Badeanstalten und sonstigen öffentlichen Anstalten in Betracht.

In nachstehender Zusammenstellung findet man die Angaben des Wasserbedürfnisses für verschiedene Zwecke:

Für	einmalige Besprengung der Strassen und Plätze	
	auf jeden Quadratmeter gepflasterte Strasse . .	1 Liter
	„ „ „ chaussierte „ . . .	1,5 „
	„ „ „ Rasen- und Gartenanlage	1,5 „
„	Markthallen auf jeden Quadratmeter überbaute Fläche und jeden Markttag	5 „
„	Schlachthäuser, für jedes Stück Schlachtvieh . .	300 „
„	Kranken- und Pfründnerhäuser für je 1 Person und Tag, einschliesslich Bäder	120 „
„	Kasernen 1 Mann und Tag, einschliesslich Bäder	25 „
„	Schulen für Brausebäder, Besprengung, Abortspülung, der Kopftag	5 „
„	selbstthätig aussetzende Spülung öffentlicher Pissoirs in der Stunde	50 „
„	ständige Pissoirspülung auf jeden Meter Länge der Spülfläche und jede Stunde	200 „

Selbstverständlich sind auch hierin die örtlichen Bedürfnisse

sehr voneinander abweichend, denn in Städten und Strassen mit sehr starkem Verkehr werden viel grössere Anforderungen zu befriedigen sein, wie in solchen mit geringem Verkehr; auch die Rücksichten auf den Fremdenverkehr sind bestimmend für den der öffentlichen Reinlichkeit geopferten Wasserverbrauch. So ist auch der Verbrauch an Spülwasser für die Kanäle sehr verschieden, er wechselt je nach der Ausdehnung, Grösse und besonders dem Gefälle der Kanäle von 1—8 Liter für den Kopftag. Öffentliche Springbrunnen können sehr bedeutende Wassermengen zur Erfrischung der Luft und Belebung ihrer Umgebung in die Höhe schleudern. Für Strassenbesprengung ist hauptsächlich die Dichtigkeit der Bevölkerung massgebend; je geringer diese, desto grösser ist die Ausdehnung der Strassen und Plätze.

Der Wasserbedarf für die Gewerbewirtschaft ist selbstverständlich ein ausserordentlich mannigfaltiger, schwer bestimmbarer, weshalb auch die Wasserabgabe für diese Zwecke gewöhnlich nur durch Wassermesser vermittelt wird. Er ist in industriellen Orten ein wesentlicher Bestandteil des Gesamtverbrauches. Alle Angaben, die über den Wasserverbrauch einzelner Gewerbe und Betriebe gemacht werden, beruhen auf willkürlichen Annahmen und bleiben am besten unberücksichtigt.

Für einzelne, bestimmte Bedarfsfälle lassen sich die erforderlichen Wassermengen bestimmen, wie z. B. die Speisewassermenge der Dampfkessel, welche sich aus dem Dampfverbrauche der Maschine ergibt. Er ist z. B. für kleine Auspuffmaschinen in 1 Pferdestärke-Stunde . . . . . 25—35 Liter
bei mittleren solchen Maschinen . . . . 13—17 „
bei Kondensationsmaschinen . . . . 6—12 „

Das Kondensationswasser für Dampfmaschinen beträgt das 25—30fache des Speisewassers für die Pferdestunde.

Der Gesamtwasserverbrauch ist demnach nicht bloss von der Einwohnerzahl, sondern auch von deren Lebensweise und Beschäftigung, sowie von der Bebauungsweise abhängig; dazu kommt der Einfluss, welchen die Art der Verrechnung des Wasserverbrauches, ob nach Wassermesser oder nach Schätzung, auf den Verbrauch selbst ausübt. Je mehr Wassermesser ein-

geführt sind, desto mehr wird der Verbrauch auf das geringste Mass des Bedürfnisses beschränkt, allerdings im Hausbedarfe auf Kosten der Reinlichkeit. Auch Wasserverluste finden bei dem Betriebe der Wasserleitungen in erheblichen Masse statt durch Undichtigkeiten des öffentlichen Rohrnetzes und der Hausleitungen, sowie auch durch Wasservergeudungen im Betriebe selbst und in der öffentlichen Wasserbenützung.

Die einzelnen Städte weisen daher eine ausserordentliche Abweichung des täglichen Kopfverbrauches auf, wie aus nachstehender Zusammenstellung hervorgeht.

Der aus dem Jahresverbrauche sich ergebende mittlere Tagesverbrauch ist für den Kopf in Liter

Rom . . .	650	Glasgow . .	227	Elberfeld . .	100
Neapel . . .	350	Plymouth . .	227	Stuttgart . .	100
Padua . . .	300	Hull . . .	136	Düsseldorf . .	100
Spezia . . .	160	London . . .	140	Halle a. S. .	90
Florenz . .	90	Southampton .	140	Dresden . .	80
Turin . . .	70	Manchester .	102	Breslau . .	80
Marseille . .	490	Sheffield . .	100	Berlin . . .	80
Besançon . .	260	Dortmund . .	300	Wiesbaden . .	80
Paris . . .	220	Lübeck . . .	200	Nürnberg . .	70
Nantes . . .	150	Duisburg . .	175	Braunschweig .	70
Toulouse . .	120	Köln . . .	130		

Der Gesamtverbrauch einer Stadt ist unter sonst gleichbleibenden Verhältnissen durch den Einfluss der Witterung, also besonders durch den Wechsel der Jahreszeiten, sowie auch im Laufe eines Tages grossen Schwankungen unterworfen. Die einzelnen Jahrgänge weichen daher, je nachdem sie vorwiegend nasse oder trockene Witterung hatten, im Verbrauche sehr vom durchschnittlichen Jahresverbrauche ab.

Im Laufe eines Jahres kann man nach Lueger für Deutschland das Verhältnis des Verbrauches der einzelnen Monate zum durchschnittlichen Monatsverbrauche durch folgende Zahlen ausdrücken.

Bezeichnet M den mittleren Monatsverbrauch gleich $^1/_{12}$ des Jahresverbrauches, so ist der Verbrauch

im Januar	. 0,70	M	im Mai .	. 1,10	M	im September	1,25	M
„ Februar	. 0,70	„	„ Juni .	. 1,25	„	„ Oktober	1,15	„
„ März .	. 0,80	„	„ Juli .	. 1,30	„	„ November	0,85	„
„ April .	. 0,90	„	„ August	. 1,30	„	„ Dezember	0,70	„

An Samstagen findet in der Regel der grösste, an Sonn- und Feiertagen der geringste Verbrauch statt, oft nur die Hälfte von dem der Wochentage.

Jeder Jahrgang hat ferner einen Tag, an welchem der grösste Tagesverbrauch sich ergibt, und dieser ist massgebend für die Leistungsfähigkeit der Wasserwerksanlage, indem sein höchster Stundenverbrauch die für die Berechnung der Leistung erforderliche Zahl der Sekundenliter ergibt.

Der Tages-Höchstverbrauch fällt in die Sommerzeit, und er kann für deutsche Verhältnisse $1^1/_2$ mal so gross als der mittlere Tagesverbrauch genommen werden. Bezeichnet Tm den mittleren Tages-Kopfverbrauch, so ist der höchste Tagesverbrauch Th = 1,5 . Tm. Der höchste Stundenverbrauch im Laufe eines Tages wird ebenfalls zu 1,5 Th = Sh = $\frac{2{,}25 \cdot Tm}{24}$ angenommen.

Für Deutschland und ähnliche Verhältnisse wird jetzt im allgemeinen der Berechnung des Wasserbedarfes in grösseren Städten ein mittlerer Tagesverbrauch Tm = 100 Liter für den Kopf der Bevölkerung angenommen, was einem Tageshöchstverbrauche von Th = 150 Liter und einem Stundenhöchstverbrauche von $\frac{225}{24}$ Liter = Sh = 9,38 Liter entspricht.

Die Sekundenleistung des Stundenhöchstverbrauches ist demnach $\frac{9{,}38}{3600}$ = 0,0026 Sekundenliter.

Aussergewöhnliche örtliche Verhältnisse können selbstverständlich auch einen anderen mittleren Tagesverbrauch bedingen als den von 100 Liter; Industriestädte können 120—150 Liter beanspruchen, kleinere Landstädte befriedigen ihre Bedürfnisse mit 70—80 Liter, Dorfgemeinden und Marktflecken genügen oft 50 bis 60 Liter sehr reichlich.

Vierter Abschnitt.

Die Fassung der oberirdischen, sichtbaren Gewässer.

Fassung der Quellen.

Wenn das unsichtbar fliessende Grundwasser an der Erdoberfläche zu Tage tritt und oberirdisch abfliesst, so bezeichnet man dies als eine Quelle; ich unterscheide die Quellen im allgemeinen, wie auch die Grundwasser nach der Natur des Untergrundes, dessen Wasser sie als Abfluss dienen, nämlich:

Quellen, welche aus den Spalten der Gesteinsschichten hervorsprudeln; Quellen, welche dem über Gesteinsschichten oder diesen vorgelagerten Gesteinstrümmern (Halden) entspringen; und Quellen, welche im Schwemmlande über dessen Oberfläche sprudeln.

1. Quellen der Gesteinsschichten.

Quellen, welche unmittelbar aus den Spalten der Gesteinsschichten hervorkommen, findet man hauptsächlich im stark zerklüfteten Gebirge (wie z. B. Kalksteingebirge), wo die Wasser der verschiedenen kleinen Spalten in einer zu Tage gehenden Hauptspalte sich sammeln können. Zum Zwecke der Fassung wird die Ursprungsstelle mit der nächsten Umgebung von allen erdigen und Verwitterungsstoffen gereinigt, so dass das nackte Gestein blossgelegt ist. Sodann ist vor allem das dem Felsen rein entströmende Wasser in einem kleinen gemauerten Behälter aufzufangen, aus welchem es durch Rohrleitung seiner Bestimmung zugeführt wird. Damit das aufgefangene Wasser sowohl vor Verunreinigungen als auch vor den schädlichen Einwirkungen von Frost und Hitze geschützt ist, wird der Wasserbehälter mit Wänden umschlossen und überdeckt; die Rückwand dieser Quellenstube oder Kammer wird durch die dazu bearbeiteten Felsen gebildet, woraus die Quelle

sich ergiesst. Die Quellenkammer muss mit Lüftung, sowie auch mit einem Zugange versehen sein; ausserdem ist die Mündung des Ableitungsrohres im Behälter mit einem Seiher auszurüsten, und für etwa nötige Reinigungsarbeiten muss das Wasser im Behälter durch ein Entleerungsrohr abgelassen werden können, sowie auch im Falle von Wasserüberschuss durch verstärkten Quellenlauf ein Überlaufrohr, das mit dem Entleerungsrohr in Verbindung stehen kann, diesen Überschuss entfernen muss. Damit möglichst wenig Wasser durch das Überlaufrohr seiner Benutzung entzogen wird, ist die Lichtweite des Ableitungsrohres der Höchstlieferung der Quelle entsprechend reichlich zu bemessen; damit ferner von dem Bodensatze in der Quellenkammer nichts in das Ableitungsrohr gezogen werden kann, erhält dieses eine Lage von wenigstens 0,50 m über dem Boden. Mit dieser Lage des Ableitungsrohres über dem Boden ist dessen Lage in Bezug auf die Höhe des Quelleneinlaufes bestimmt, denn die ursprüngliche Höhenlage des Quellenspiegels soll möglichst unverändert bleiben. Eine künstliche Aufstauung des Grundwasserspiegels, von welchem der Quellenabfluss erfolgt, kann zur Folge haben, dass dem Grundwasser neue, vielleicht sehr entfernte und unsichtbare Abflussspalten sich öffnen, die nicht nur während des Aufstaues die Lieferung der ersten Quelle beeinträchtigen können, sondern unter Umständen, wenn die neue Ausflussöffnung durch den Wasserdruck sich vertieft, sogar dauernd geschädigt werden kann. Eine Tiefersenkung des Quellenspiegels ergibt zwar durch die erhöhte Abflussgeschwindigkeit anfänglich eine zeitweilige Erhöhung der Wasserlieferung, geht dann aber allmählich wieder auf die ursprüngliche Leistung zurück, welche dem Gleichgewichte mit den Zuflüssen des Grundwassers entspricht. Ein dauernder Nachteil entsteht aber dadurch, dass nach Senkung des Wasserspiegels der Grundwasserbehälter nun einen viel geringeren Wasserinhalt hat, als bei dem ursprünglichen Wasserstande; infolgedessen sind die Unterschiede in der Grösse der Grundwasserzuflüsse, wie sie der Wechsel der Jahreszeiten und der Witterung mit sich bringt, an der Quellenleistung viel merkbarer, d. h. die Mindestleistung der Quelle entfernt sich von ihrer Höchstleistung bei dem abgesenkten,

verkleinerten Grundwasser-Behälter viel weiter als bei dem ursprünglichen Stande desselben. Wenn also örtliche Verhältnisse zur Änderung der ursprünglichen Quellenlage nötigen, so muss man dabei das möglichst geringste Mass der Änderung beachten.

Die Brunnenkammern sind aus gesunden, wetterbeständigen Steinen, lagerhaften Bruchsteinen oder hartgebrannten Backsteinen zu mauern und zwar mit Zementmörtel, da Kalk, auch hydraulischer, im Quellwasser allmählich gelöst wird. Die Aussenfläche des Mauerwerkes, besonders die Überdeckung, ist mittels Asphaltüberzug oder Letten gegen das Eindringen der Niederschlagswasser zu schützen. Je nachdem die Brunnenkammer ganz oder nur teilweise in den Boden hineingebaut ist, besteht der Zugang in einem Einsteigschachte oder einer Thür; der Einsteigschacht ist zur Vermeidung von Verunreinigungen nicht über dem Reinwasser-Behälter, sondern seitwärts desselben anzulegen und mittels eisernen Deckels zu verschliessen, die Eingangsthür, mit Schwelle versehen, ist ebenfalls aus Eisen herzustellen, da Holz überhaupt bei Quellenfassungen thunlichst zu vermeiden ist. Für die Lüftung wird am besten eine Thonröhre durch die Überdeckung über diese hinausgeführt; diese Thonröhre ist mittels Haube gegen das Eindringen der Niederschläge, sowie durch Drahtgitter vor der Öffnung gegen das Einschlupfen von Tieren zu sichern.

Die Böschungen der Erdanschüttungen sind mittels Rasen oder Pflasterung zu befestigen, damit dieselben nicht mit der Zeit verfallen, und dem Niederschlagswasser den Weg nach dem Gesteine, an welches sich die Brunnenkammer lehnt, öffnen können.

In den Fig. 15, 16, 17 und 18 (s. Tafel I) ist eine Brunnenkammer ohne Zugang, eine mit Einsteigschacht und eine mit Eingangsthür dargestellt.

Um die Wasserlieferung der Quelle von Zeit zu Zeit oder auch ständig messen zu können, ist die erforderliche Einrichtung zu treffen; für zeitweises Messen genügt es, wenn z. B. der Reinwasserbehälter der Kammer bei einer Füllung desselben bis zu einer bestimmten Höhe bezüglich seines Wasserinhaltes genau bestimmt wird, so dass man zur Messung nur den Behälter vollständig entleeren darf, dann rasch die Entleerung schliesst, wodurch

sich der Behälter füllt; beobachtet man die hiezu erforderliche Zeit, so kann man die Sekunden-Wassermenge bestimmen. Ebenso kann man auch die Entleerungsleitung mit einem Messgefässe in Verbindung bringen und durch Schliessen der Abflussleitung die ganze Quellenlieferung durch die Entleerung gehen lassen.

Eine ständige Messvorrichtung kann man dadurch bilden, dass man den Einlauf der Quelle durch einen Überfall vermittelt, oder auch durch den sogenannten Wasserzoll (s. S. 81). Für Wasser-Messungen durch Überfall werden die verschiedenen Wasserstandshöhen über der Überfallkante für bestimmte Wassermengen festgestellt und durch eine Skala auf Messingplatte kenntlich gemacht, so dass man aus der jeweiligen Einlaufhöhe vor der Überfallplatte sogleich auch die Wasserlieferung erhält. Soll diese Messung eine ununterbrochene sein, so ist hinter dem Überfalle ein Schwimmer anzubringen, der mittels Stift auf einer durch ein Uhrwerk bewegten Papierrolle die Wasserstände in einer Kurve aufzeichnet. Die Anwendung eines solchen Registrier-Apparates setzt auch eine ständige sorgfältige Behandlung desselben voraus, wenn er den Erwartungen entsprechen soll.

Zum Abschluss der Entleerungsleitungen kann man Klappen- oder Tellerventile verwenden, je nachdem die Mündung senkrechte oder wagrechte Lage hat; statt der Klappen kann man auch Schiebeventile leichter Konstruktion anwenden. Dasselbe gilt für den zeitweisen Abschluss der Abflussleitung, bei welcher man auch häufig nur abgedrehte Holzpfropfen anwendet.

Kann man aus der Erscheinung von mehreren kleinen Wasserfäden oder Quellen unterhalb und oberhalb einer grösseren Spaltenquelle schliessen, dass diese grosse Quelle nicht den vollen Abfluss des Grundwasserbeckens ergibt, sondern ein weiterer Abfluss, wenn auch nur wenig bemerkbar, nach ober- oder unterhalb der grossen Quelle stattfindet, so ist zunächst zu untersuchen, in welcher Richtung die Schichten fallen. Treibt man dann von der grossen Quelle aus einen Stollen senkrecht zum Schichtenfalle in das Gestein, so durchschneidet man damit alle hinter der Quelle vorbeiziehenden Wasseradern, die sich in dem Stollen sammeln und in den Reinwasserbehälter der Quellenkammer geleitet werden. Die Sohle

des Stollens ist dabei immer in solcher Höhenlage zu halten, dass der ursprüngliche Grundwasserstand möglichst wenig verändert wird; durch Anbringen von Schützen im Gerinne des Stollens kann man allenfalls regelnd auf den Grundwasserstand einwirken. Die Stollen sind begehbar mit 0,70 m Mindestbreite und 1,70 m Mindesthöhe, sowie mit seitlichem Gehweg über dem höchsten Wasserstande anzulegen. Ist für seitliche Anlage des Gehweges nicht genügend Raum, so kann derselbe in die Mitte über das Gerinne gelegt werden, indem man hier eichene Bohlen auf eisernen Querträgern verlegt, die zwecks Reinigung der Gerinne weggenommen werden können.

2. Quellen, welche den Verwitterungstrümmern, die über oder vor dem Muttergesteine gelagert sind, entspringen.

Die Kuppen und Gehänge der Berge sind meist mit einer mehr oder weniger dicken Ablagerung der Verwitterungen ihrer Oberflächensteine bedeckt, in welchen die von oberhalb gelegenen Bergpartien kommenden Oberflächengewässer, sowie auch die unmittelbaren Niederschläge sich sammeln. Diese Wasseransammlungen sind um so grösser, je undurchlässiger das unterliegende Muttergestein und die oberhalb gelegenen Berghänge, sowie je geringer die Bodengefälle sind. An einzelnen muldenförmigen Stellen der Oberfläche, oder da, wo eine Zwischenlagerung von schwer- oder undurchlässigem Boden vorhanden ist, treten diese unterirdischen Wasser zu Tage, sei es an einer stark eingebuchteten Stelle oder in einer Reihe von einzelnen Wasserfäden, die über die Oberfläche rieseln. Auf den Kuppen und sanften Abdachungen der Berge sind die im Gruse austretenden Wasser immer solche, welche auch hier sich erst angesammelt haben. An sanft geneigten Hängen und in den Sätteln zwischen zwei Kuppen treten manchmal in dem Verwitterungsschutte Quellen auf, welche ihr Sammelgebiet in den Schichten des Muttergesteines haben, durch eine oder mehrere Spalten desselben Abfluss in den Grus finden, in dem sie sich weiter bewegen, bis sie auch hier einen Ausweg ins Freie finden. Die erstgenannten Wasser, deren Sammlung unmittelbar aus den Niederschlägen und Oberflächenzuflüssen erfolgt,

sind durch Sammelkanäle und Röhren zu fassen, welches Verfahren auf S. 138 f. näher beschrieben ist. Zur Fassung aus den Gesteinsschichten kommender Wasser werden diese durch Abräumung des Verwitterungsschuttes bis zu ihrem Austritt aus dem Gesteine aufgedeckt und hier in Quellenkammern gefasst, wenn es sich um grössere Quellen handelt; bestehen die Wasserergüsse der Gesteinsschichten in einer Reihe kleiner Wasseradern, so ist im Verlauf dieser Reihe ein Sammelkanal anzulegen, in welchen die bis auf den Felsen aufgedeckten kleinen Quellen mittels geschlossener Rohrleitungen dem Sammelkanale zugeführt werden. Die sogenannten Schutthalden, welche den Schichten der Abhänge vorgelagert sind, schliessen häufig derartige Wasserabflüsse ein, die stellenweise daraus hervorbrechen und so die unterirdische Wassersansammlung verraten. Um reines Wasser zu erhalten, ist es nötig, die Gesteinsschichten blosszulegen und von hier das Wasser, geschützt gegen äussere Verunreinigungen, abzuleiten. Bezüglich Anlage der Sammelkanäle und Röhren gilt auch hier, dass sie mindestens so viel Bodenüberdeckung haben müssen, um sie der Einwirkung des Frostes und der Wärme zu entziehen. Die Kanäle sollen möglichst begehbar angelegt sein und in einen besteigbaren Sammelschacht münden, der mit Überlauf und Entleerung, allenfalls auch Messvorrichtung versehen ist. Im übrigen gilt auch hier das, was eben bei den Quellenfassungen im Gesteine gesagt ist.

Wasser aus teilweise losen, sandigen Gesteinsschichten führen öfter viel Sand; ebenso sind auch Quellen, deren Grundwasserbehälter nicht gross ist und nicht tief liegt, sowie Zuflüsse von Oberflächenwasser nach Niederschlägen erhält, oft trübe von dem Gehalt an Sinkstoffen. Um diese möglichst daraus zu entfernen, wird das Quellwasser zuerst durch einen sogenannten Sandfang geführt, bevor es in den Reinwasser-Behälter der Quellkammer gelangt. Der Sandfang oder Klärbehälter muss genügend gross sein, um das Wasser mit möglichst geringer Geschwindigkeit hindurchzuleiten und ihm so Zeit zur Absetzung seiner Sinkstoffe zu geben. Aus demselben Grunde erhalten Einlauf und Auslauf des Sandfanges, die beide in der Höhe des Wasserspiegels liegen, eine möglichst grosse Überfallbreite. Besser ist es, dem Sandfange

einen besonderen Einlaufschacht zu geben, in welchem das oben einlaufende Wasser bis zur Schachtsohle abwärts sinken muss, um hier auf der Sohle des Sandfanges in diesen zu gelangen. Die Sohle des Sandfanges steigt gegen den Auslauf derart an, dass das Wasser gezwungen ist, sich aufwärts zu bewegen, um zum Auslaufe an der Spiegelfläche zu gelangen. Diese Aufwärtsbewegung des Wassers ist der Schwerkraft, welche die Sinkstoffe zum Ausscheiden bringt, entgegengesetzt und fördert auf diese Weise den Ausscheidungsvorgang.

Zur Reinhaltung des Wassers ist es nötig, diese Klärbehälter mit Mauerwerk und Aufschüttung zu überdecken und zu entlüften. Zweckmässig ist die Anlage einer Umgangsleitung, so dass der Sandfang ganz ausgeschaltet werden kann, um ihn einer Reinigung zu unterziehen; notwendig ist eine Entleerungsvorrichtung. Zweckmässige Form des Klärbehälters ist das Rechteck von solcher Breite und Tiefe, dass der Durchflussquerschnitt für die Durchflussmenge eine geringe Geschwindigkeit ergibt, etwa 0,001 m in der Sekunde, je nach der Natur der Trübung des Wassers.

Für eine Wassertiefe von durchschnittlich 1,5 m und eine Wasserlieferung von 10 Sekundenliter erhält man eine Durchflussbreite von $B = \frac{0,010}{1,5 \,.\, 0,001} = 6,666$ m, der Durchflussquerschnitt ist 10,0 qm, und in der Stunde gehen demnach 10 cbm Wasser durch den Klärbehälter oder in 24 Stunden die ganze Lieferung der Quelle von 860 cbm. Bei einer Länge von 10,0 m beträgt der Aufenthalt des Wassers im Klärbehälter, oder die Zeit vom Einlaufe bis zum Auslaufe 10 . 1000 = 10 0000 Sekunden = 2,777 Stunden. Die Zeit zur Klärung ist demnach nicht sehr lang und können damit nur die schweren Sinkstoffe, wie Sand, ausgeschieden werden, und dies ist bei Quellwasser auch gewöhnlich das Nötigste. Zur Erzeugung noch geringerer Durchgangsgeschwindigkeiten würden die Ausmasse sehr gross ausfallen.

3. Quellen des Schwemmlandes.

Für die Quellen, welche sich in der oberen Stufe des Schwemmlandes, das die Gebirgsthäler füllt, befinden, gilt das-

selbe, was bezüglich der Quellen im Verwitterungsschutte über dem Muttergesteine gesagt wurde, dass nämlich diese Quellen von Wasser gespeist werden, welches entweder aus den Gesteinsschichten hervorquillt und sich in den Schwemmschichten ausbreitet, oder welches sich im Schwemmlande selbst sammelt aus den Niederschlägen oder unmittelbaren Zuflüssen von Oberflächenwasser benachbarter Höhen. Die Fassung dieser Quellen in der oberen Stufe des Schwemmlandes ist daher auch dieselbe wie diejenige der Quellen in dem Verwitterungsschutte über dem Muttergesteine; die Quellen der unteren Schwemmstufe treten hauptsächlich in den muldenförmigen Einsenkungen der grossen Flussthäler und Niederungen auf, die entweder tiefer liegen als der Spiegel des benachbarten Grundwasserstromes, oder wo derselbe durch eine schwer- oder undurchlässige Einlagerung gestaut ist. An den Ufern von Flüssen und Seen, besonders in Einbuchtungen sieht man häufig das Grundwasser als Quellen zu Tage gehen und in das Gewässer sich ergiessen; vom Wasser überdeckte Quellen machen sich durch Aufsteigen von Luftblasen, sowie durch kleine Sandflüsse bemerkbar. Die Quellen der Niederungen steigen immer von unten nach oben und sind häufig durch ihr Aufsprudeln bemerkbar, weshalb man sie zu den Sprudelquellen zählt; die Quellen des Gebirges zeigen nur selten diese Erscheinung, besonders wenn sie unter dem Drucke ihres höher gelegenen Sammelbehälters den Gesteinsschichten entspringen, kann man sie als Springquellen bezeichnen. Die Sprudelquellen der Niederungen haben gewöhnlich nur geringe Vorflut und verursachen wegen ihres schwachen Ablaufes häufig eine grössere Wasseransammlung in Form eines Tümpels, Sumpfes oder Teiches, die mit allerlei Pflanzen bewachsen und von verschiedenen Tieren belebt sind.

Kann man solchen Quellen künstlich einen tieferen Ablauf verschaffen, so dass deren Tümpel entleert werden kann, so ist nach gründlicher Reinigung der Quellenumgebung von Schlamm, Pflanzen u. dergl. die Fassung derart zu bewirken, dass man um die einzelnen grösseren Quellen, sowie um ganze Gruppen kleinerer Quellen den reinen und festen Boden freilegt und die Sprudel mit Mauerwerk bis über die Bodenoberfläche umgibt und

dieses überdeckt, so dass eine Verunreinigung des Quellenwassers verhindert ist. Meist ist ein künstlicher Abfluss nur durch Auspumpen zu bewirken, das bei Quellen, welche dem Sande entsprudeln, nicht so stark betrieben werden darf, dass die Quellen anfangen viel Sand auszuwerfen, weil dadurch mit der Zeit eine Umbildung der Untergrundverhältnisse und damit eine Verlegung der Quelle veranlasst werden kann. Grössere Quellenflächen mit zahlreichen kleinen Sprudeln werden nach Reinigung des Tümpels mit einer über die Oberfläche des umgebenden Geländes reichenden Mauer eingefasst, und auf dem festen Quellengrund werden die einzelnen Sprudel durch regelrechte kleine Kanäle, oder auch nur durch einen entsprechenden Steinwurf über dem Quellenboden zusammengeführt, und wenn die Spiegelfläche dieser Quellensammlung nicht zu ausgedehnt ist, wird sie überdeckt mittels Gewölben; ausgedehnte Quellenteiche werden nur mittels Mauerwerk, im losen Boden mittels Pfahlwand eingefasst, und der den festen Quellengrund überdeckende, den Zusammenlauf der einzelnen Sprudel regelnde Steinwurf wird mit einem 20—30 cm starken Lettenschlag zum Schutze gegen die Oberwasser überzogen. Ein Sammelbrunnen, in welchem die einzelnen Wasserrinnen von den Sprudeln zusammenlaufen, dient zugleich als Entnahmestelle, ist überdeckt und nach aussen abgeschlossen. Schutz gegen Frost und Wärme, sowie Lüftung sind auch hier wie bei allen Fassungen zu berücksichtigen, sowie auch Leer- und Überlauf vorzusehen sind, soweit die Vorflutverhältnisse dies gestatten.

Lueger gibt nachstehende Beschreibung einiger derartiger Quellenfassungen.

Die Donauquelle bei Donaueschingen ist in einem kreisförmigen Brunnen von 7,5 m Durchmesser gefasst. Der Brunnen ruht auf einem Pfahlroste und ist in Quadernmauerwerk hergestellt; etwa 1,5 m über der aus Gerölle bestehenden Sohle der Quelle ist ein Überlaufbecken angebracht, welches mit dem Abzugskanale in Verbindung steht. Der hierdurch festgelegte Wasserspiegel liegt etwa 2,0 m unter der Oberfläche des Geländes; 0,60 m über diesem befindet sich seitlich eine 1,5 m breite Galerie, von welcher aus das Wasser geschöpft werden kann; der Quellenspiegel ist nicht überdeckt.

Die Quellenfassung von Armentières für Paris bildet einen kreisrunden 10,0 m weiten Sammelteich, der mit einer weiten, überwölbten Halle überdeckt und durch eine Thür zugänglich ist.

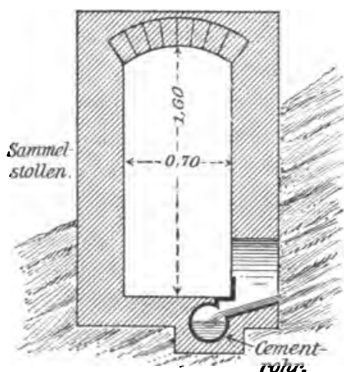
Die Quellenfassung bei Guermanez für die Stadt Lille besteht aus einer kreisrunden Brunnenstube, die durch einen seitlich stehenden Turm zugänglich ist. Die bei der Quelle vorhandenen Grundwasserströmungen sind in einem Sammelkanale der Brunnenkammer zugeleitet. Auf der Sohle der Brunnenstube und der Sammelgalerie wurde ein Kiesfilter aufgeschüttet, um das Aufwirbeln von Sand zu verhüten.

Die Fassung der Quellen für die Versorgung der Stadt Lahr beschreibt Lueger in folgender Weise (siehe Lueger S. 395):

Die Quellen im Giessenthale bei Lahr entspringen dem Buntsandstein, dessen Schichtenfall im allgemeinen von Nordost nach Südwest geht. Von Süden und Westen ist der Fuss des Buntsandstein-Gebietes durch einen weitreichenden, nahezu wasserdichten Mantel von Löss und Lehm bedeckt, dem das örtliche Auftreten der vielen hier vorhandenen Quellen zuzuschreiben ist. Der Stadt Lahr ist nur die untere Giessenthalquelle zugänglich gewesen; etwa 50 m oberhalb derselben befand sich der sogen. Kleebrunnen, welcher der Gemeinde Reichenbach gehörte und um annehmbaren Preis nicht zu kaufen war; dieser Kleebrunnen durfte aber, da er von jeher nur dem unterhalb liegenden von der Stadt Lahr erworbenen Grundeigentum dienstbar war, abgegraben werden, sofern dies auf Lahrer Grund und Boden gelang. Zu diesem Zwecke wurde ein Schlitz gemacht nach der Linie, welche beide Quellen verband. Die Sohle des Schlitzes wurde 1,5 m tiefer gelegt, als der Ursprung der unteren Quelle und kam auf diese Weise 0,5 m unter die aufgedeckte Oberfläche des Sandsteinfelsens. Beim Vortreiben des Schlitzes zeigte sich eine allmähliche Abnahme des Kleebrunnens; er war an seinem alten Ursprunge verschwunden, nachdem der Schlitz etwa 30 m Länge erreicht hatte, und trat als stärkste Quelle am Ende des Schlitzes auf. Ebenso waren mit dem Vortreiben des Schlitzes auch die aus kleineren Felsspalten kommenden Quellen verschwunden und konnten jetzt auf einer Länge von 20 m in eine Galerie zusammengeleitet und die ganze

Quellenfassung in den gewachsenen Felsen eingebettet werden. Die Brunnenstube dient zugleich als Klärbehälter zur Sandablagerung, und dieser hat daher eine Länge von 8,0 m und eine Breite von 2,8 m. Für 13 Sekundenliter Wasserdurchfluss wurde damit eine Durchflussgeschwindigkeit von 0,0066 m erzielt, bei welcher Geschwindigkeit sich auch die feinsten Sandteilchen innerhalb der ersten 5,0 m vom Einlaufe ablagern sollen.

Von aussen ist die Brunnenstube durch eine mit Schlackenwolle gefüllte eiserne Doppelthür zugänglich. Ein Steg von Eichenholz dient zum Begehen der Galerie. Eine 2—3 m dicke Erdüberdeckung schützt die Anlage gegen die Einwirkung der Aussentemperatur und des Tagewassers. Die Brunnenstube ist vollständig in die natürliche, harte Lehmmasse eingebaut, welche dem Felsen vorgelagert ist; das Mauerwerk besteht aus Bruchsteinen in hydraulischem Mörtel und ist mit Steinschroppen, die nach oben immer kleiner werden, hinterfüllt; die kleinen Schroppen oder der Kies gehen schliesslich in Sand über, der die Anlage bis 0,60 m über dem Scheitel derselben überdeckt. Über dem Sande ist sodann eine Schicht reiner Letten eingestampft.



Massstab 1 : 50.

Fig. 19.

Quellenansammlungen von Baden-Baden, ausgeführt von Lueger (s. Lueger, Wasserversorg. S. 399):

An den freiliegenden Stellen der Steinscheide zwischen Granit und Buntsandstein zeigen sich überall Quellen oder Wasserfäden. Diese wurden entweder einzeln gefasst oder, wo sie in Reihen auftraten, in Galerien gesammelt. Die Sammelgalerien sind in einer Gesamtlänge von 1200 m durch Zwischenleitungen von 800 m Länge verbunden. Die Galerien sind 0,70 m breit und 1,60 m hoch (siehe Fig. 19).

Wo eine stärkere Quelle hervortritt, ist in die südliche Stollen-

wand eine Nische durchgebrochen, und diese steht mit dem Sammelrohre unter der Sohle in Verbindung. Kleinere Wasserfäden sind in Thonröhren entlang der südlichen Stollenwand gesammelt und der nächsten Nische zugeführt, wo sie in das Hauptsammelrohr abfliessen. Die Sohle des Stollens dient nur zur Sammlung des vom Mauerwerk herkommenden Tropfwassers, das von hier in die Einsteigekammer und dort in den Leerlauf geleitet wird. Das Mauerwerk der Wände ist trocken aufgeführt; die Sohle, sowie die Seitenwände auf 0,20 m Höhe über der Sohle sind mit Cementverputz versehen.

Da die Sammelröhren stets der Steinscheide folgen müssen, die letztere aber durchaus keinen regelmässigen Verlauf nimmt, werden im Längenprofile der Sammelanlage Gefällbrüche notwendig, zwischen welchen die Lichtweite der Sammelröhren wechselt; an allen solchen Gefällbrüchen befinden sich Einsteigekammern mit kleinen Zwischenbehältern, in welchen der Übergang von einer Gefällstrecke zur andern vermittelt wird; gleichzeitig dienen die Einsteigekammern zur Lüftung des Stollens. Jede Einsteigekammer ist mit Leer- und Überlauf ausgerüstet; in letzteren fliessen die auf der Stollensohle ablaufenden Tropfwasser. Der Leerlaufschieber ist leicht und rasch zu handhaben, so dass die Reinigung des Behälters leicht zu bewirken ist. Die grösste Länge der Galerie zwischen zwei Einsteigekammern beträgt 200 m. Zu den Eingängen der Kammern, deren Bodenflächen 6—8 m unter Gelände liegen, führt von aussen ein in den Felsen gesprengter Einschnitt mit abgepflasterter Sohle, in dem auch die Leerlaufröhre liegt. Die Einsteigekammern, sowie die Sammelkammern sind aus Bruchsteinen in hydraulischem Mörtel errichtet und an der Stirnfläche mit Quadern verkleidet.

Zur Fassung der an flachen Halden entspringenden Quellen wurde die eigentliche Sammelgalerie so weit hinter die Steinscheide zwischen Granit und Buntsandstein gerückt, bis die Bodenüberdeckung über der undurchlässigen Schicht eine Höhe von etwa 5 m erreicht hatte, um die Tagwasser abzuhalten. Von der Sammelgalerie führt ein Stollen zur Brunnenstube, welche so weit vorgerückt wurde, bis der Waldboden noch im Mittel 1,5 m über dem äusseren Scheitel des Gewölbes abdeckte. (Siehe Fig. 20, S. 120.)

Über die Fassung der Quellen in der Mühlauer Klamm für die Stadt Innsbruck entnehme ich einer Schilderung Luegers folgendes:

Die roten Schieferthone und Sandsteine bilden hier ein grosses Becken, in welchem die darüber folgenden Kalke liegen. Die Niederschlagswasser sammeln sich über dem roten, teilweise thonigen Gesteine und fliessen an dem durch das Gehänge des Gebirges angeschnittenen Rande dieses Beckens in Form von Überfallquellen aus. Dieser Rand, d. h. die Steinscheide zwischen dem roten Sandstein und den dunkeln Kalken, liegt auf eine grosse Strecke horizontal, und längs dieser im Gelände gebildeten Horizontalkurve treten entweder Quellen an der unbedeckten Steinscheide zu Tage, oder sie laufen von der bedeckten Steinscheide unter der Decke gegen den Mühlauer Bach ab.

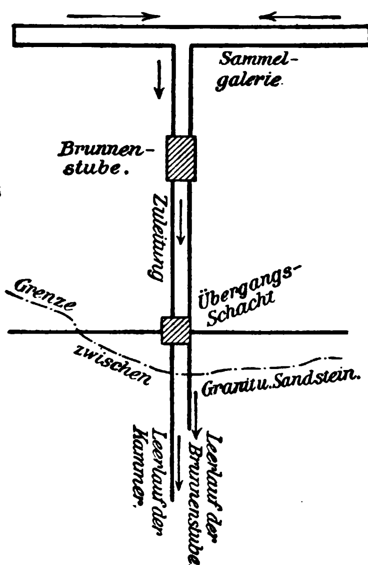


Fig. 20.

Der Sammelkanal beginnt an oben genannter Horizontalkurve, ist 1,20 m breit und 1,80 m hoch; der untere Teil von 60 m Länge steigt mit 1:200 an, der mittlere 40 m lange Teil hat Sohlenneigung von 1:4, und der oberste Teil ist als Kaskade mit 1,20 m breiten Stufen angeordnet. Beim Vortriebe dieser Stollen trat eine mächtige Wassermenge aus den Spalten des Kalkgebirges über dem roten Sandstein, welcher die Stollensohle bildet. Allmählich nahm die Wassermenge mit dem weiteren Vortriebe des Stollens an dessen untersten Strecken ab, während sie sich in den oberen Teilen vergrösserte. Auch wurden zeitweise Trübungen des Wassers bemerkt, welche nur aus

Zusammensturz im Gebirgsinnern erklärlich waren. Endlich gelangte man zu einer ausgedehnten, 20 m langen und im Mittel 10,0 m breiten Höhle, nach deren Öffnung die Wassermenge auf 400 Sekundenliter stieg und in den unteren Stollenstrecken die Zuflüsse allmählich verschwanden. Von der Decke der Höhle lösten sich von Zeit zu Zeit Sandklumpen los, fielen in das Wasser und trübten es. Der hinterste Teil der Höhle, aus dessen Bergwand die Quellen jetzt fliessen, wurde sorgsam mit einer Mauer, welche das Wasser durch Schlitze austreten lässt, geschlossen; ausserdem wurde die Höhle durch Steinpackungen gegen Einsturz gesichert, und seitdem ergiesst sich das Wasser stets krystallhell mit einer Temperatur von 5 bis 6° C. in die Sammelanlage.

Fassungsanlage des Kaiserbrunnens bei Wien (siehe Lueger S. 407):

Das Wasser des Kaiserbrunnens entstammt meistenteils dem „Schneeberg“, dem höchsten Punkte der Kalkzone in der Umgegend von Wien. Dieser Berg bildet eine ausgedehnte, von allen Seiten mit sehr steilen Abstürzen umgebene Hochebene, welche vollständig wasserlos, mit tiefen Spalten und trichterförmigen Vertiefungen ausgestattet ist. In den Spalten und Vertiefungen liegt das ganze Jahr, auf der Hochfläche den grössten Teil des Jahres über Schnee. Alle Niederschläge und Tauwasser versinken bis auf die undurchlässige, dem Kalke unterliegende Schichte der sogenannten Werfener Schiefer.

Es entstehen infolgedessen eine grosse Zahl Quellen, und von diesen werden die bedeutendsten: der „Kaiserbrunnen“ und die „Sixtensteiner Quelle“ unter dem Namen Hochquellen für die Wasserversorgung von Wien benützt. Das Wasser der Kaiserquelle trat aus einer Felsspalte senkrecht in die Höhe und bildete zu Zeiten des Maximums einen aus kleinem Quellteiche aufsteigenden Sprudel; in der wasserarmen war der Spiegel des Teiches ruhig.

Es wurde ein Stollen gegen den Kaiserbrunnen vorgetrieben und allmählich vertieft, um die Hauptwasseradern im Gebirge aufzusuchen. Man fand schliesslich eine 17 m lange, 1,0 m breite Grotte mit zahlreichen Tropfsteingebilden, in welche die Quellen

von allen Seiten, auch von unten her eintreten. Die Lage der Grotte, sowie die einiger vor der Grotte gelegener Quellen, veranlasste die grössere Ausdehnung der Brunnenstube (Wasserschloss). Die Ausmauerung des Wasserschlosses ist durchweg in Quadern mit Zementmörtel erfolgt.

Für die Fassung der Quellen des Mangfall-Thales zur Wasserversorgung von München wurde ein Sammelkanal angelegt mit Gefälle von 1:2000; er zerfällt in zwei Strecken, wovon die erste von den Quellen des Kasperlbaches bis zum Mühlthale 340 m lang ist; die zweite vom Mühlthale bis zum Beginne des Ableitungsstollens ist 760 m lang. Die Sohle dieses Sammelkanales liegt 98,60 m über der obersten Stufe der Münchener Frauenkirche. Der Kanal hat 1,50 m Höhe und 1,0 m Breite im Lichten, seine Seitenwände und das Deckgewölbe sind 0,25 m stark aus Backsteinmauerwerk in Zementmörtel; die flache Sohle aus Beton von 0,20 m Stärke. Die Backsteinwände sind bis 0,05 m über den höchsten Wasserstand mit Zementmörtel verputzt, die übrigen inneren Wandflächen und das Deckgewölbe glatt verfugt. Die durch entsprechende Fundierung zu sichernde Sohle wurde sofort nach Fertigstellung mit Zementmörtel überrieben und geglättet. Die Quellen sind teils einzeln durch gelochte Thonröhren entweder unmittelbar oder mittelbar durch einen Einfallschacht zusammengeführt, teils durch Thonröhren mit dem Sammelkanale verbunden.

Bei der Quellenfassung für die Wasserversorgung von Frankfurt a. M. wurde jede einzelne aus den Schutthalden sich ergiessende Wasserader bis zum festen Gesteine aufgeschlossen, gefasst und in geschlossenen Rinnen nach den Kanälen und Sammelkammern geleitet. Die Quellen entspringen teils im Vogelsberge, teils im Spessart, und die Wasser beider Quellengebiete vereinigen sich in einem Sammelbehälter, von wo die Hauptzuleitung mit 533 mm D. durch das Mainthal über Gelnhausen und Hanau in den bei Frankfurt errichteten Hochbehälter geführt ist.

Namentlich die aus Basalt bestehende Formation des Vogelsberges, die stark zerklüftet und an der Oberfläche verwittert ist, bildet einen ausgedehnten unterirdischen Sammelbehälter, und hier treten die Wasser durch viele kleine, auf grosse Ausdehnung ver-

teilte Quellen aus, die ziemlich gleichmässige Wasserlieferung besitzen.

Die Sohle der kleinen Quellenkanäle wurde mittels feingeschlagenen Basaltschotters gebildet, durch den die senkrecht aufsteigenden Quellen in das Kanälchen eintreten können. Diese Kanäle haben je nach der Wassermenge eine Lichtweite von 0,24 m, 0,36 m und 0,50m und sind teils mit halbrunden Zementröhren überdeckt, teils überwölbt. Äusserlich sind sie mit Zement verputzt und mit Letten bekleidet unter Gefälle- und Rinnenanlage zum Ablaufe der Tagwasser. Die einzelnen Quellenkanäle münden in Kammern, welche aus Vorkammer und Wasserkammer bestehen. In die Wasserkammer münden die Quellenkanäle ein, sowie das Leer- und Überlaufrohr aus. In der Vorkammer befinden sich die nötigen Schieber. An den obersten Enden der Quellenkanäle befinden sich über die Oberfläche aufsteigende Lüftungsröhren.

Wasserentnahme aus Flüssen und Seen.

Die Wasserentnahme aus Flüssen und Seen bietet bezüglich der für die Bedürfnisse genügenden Wassermenge in der Regel für alle Zeiten die grösste Sicherheit; bezüglich der Reinheit des Wassers für leiblichen Genuss genügt sie den heutigen Ansprüchen nicht mehr und kommt daher im allgemeinen erst dann in Anwendung, wenn besseres Wasser gar nicht oder nur mit grossen Kosten zu erhalten ist. Flusswasser, das besonders zur Regenzeit viele Sinkstoffe führt, muss unter allen Umständen erst gereinigt werden, bevor es zur Wasserversorgung dienen kann. Die Wahl des Entnahmeortes ist von sehr wesentlichem Einfluss auf die Reinheit des Wassers, jedenfalls muss derselbe immer oberhalb stark bewohnter Orte, sowie überhaupt fern von unreinen Zuflüssen liegen. An der Entnahmestelle soll das Wasser nicht seicht sein, sowie auch möglichst viel Strömung haben. Am besten liegt daher die Mündung des Entnahmerohres in der Nähe des Thalweges eines Flusses, nie in Einbuchtungen der Ufer, sondern an der dem Strome zugekehrten Uferseite einer vorspringenden Biegung oder Zunge. In Seen, welche von einem Flusslaufe durchzogen werden,

ist dieser der Entnahmestelle möglichst fern zu lassen, wenn der Fluss oberhalb des Sees starken Verunreinigungen ausgesetzt ist. Das Seewasser ist in einer Tiefe und Entfernung vom Ufer zu entnehmen, wo das Wasser möglichst gleichbleibende Temperatur hat und vor Verunreinigungen geschützt ist.

Für grössere Wassermengen werden Kanäle in das Gewässer gebaut, was immer verhältnismässig kostspieliger ist, als das Verlegen von Röhren; die Mündung des Entnahme-Rohres oder Kanales muss immer stromabwärts gerichtet sein, damit die im Wasser enthaltenen Schwimmstoffe nicht hineingetrieben werden; ausserdem ist diese Mündung noch durch vorgelegte Gitter und Seiher zu schützen. Um das Verlegen der Mündung durch Grundeis zu verhindern, ist dieselbe stromaufwärts durch eine Pfahlwand vom Strome abzusperren, so dass zwischen dieser Wand und der Mündung das Wasser nur wenig Strömung besteht, wodurch das hierher gelangende Grundeis an die Oberfläche aufsteigen kann. Die Mündung darf ferner nicht unmittelbar auf der Sohle des Bettes liegen, damit nicht Sand und Schlamm mit dem Wasser hineingezogen wird, und sie muss ferner durch entsprechend eingerammte Pfähle mit Bohlenüberdeckung gegen äussere Verletzungen durch Schleppanker, Ruder, Schaltbäume u. dgl. geschützt sein. Ist der Boden des Fluss- und Seebettes beweglich, so ist die Saugleitung auf eine mit Zangen verbundene Reihe von eingerammten Pfählen zu verlegen und zu befestigen. Zweckmässig ist es, zwei Saugröhren zu verlegen, die nur für den grössten Wasserbedarf zusammen in Betrieb sind, deren eine aber zu den übrigen Zeiten in Bereitschaft steht. Um die Saugröhren zeitweilig durchspülen zu können, erhalten sie eine Verbindung mit der Druckleitung des Wasserwerkes, die auch gleichzeitig dazu dient, die entleerte Saugleitung zu füllen, um das Ansaugen durch die Pumpen zu erleichtern. Zu gleichem Zwecke sind die Saugröhren oberhalb der Mündung in der Höhe des Niederwasserstandes mit Rückschlagventilen oder Klappen zu versehen, welche ein rasches Zurückfallen des Wassers bei Unterbrechung des Pumpenbetriebes verhindern. In sehr langen Saugleitungen werden auch streckenweise mehrere Rückschlagsklappen angebracht,

besonders in der Nähe des Ufers; über jeder Klappe ist ein Einsteigschacht zu errichten, und die Strecken-Klappen müssen mit Vorrichtung versehen sein, dass sie z. B. bei Füllung der unterhalb gelegenen Saugrohrstrecke mechanisch geöffnet werden können. Die Saugröhren müssen von der Mündung bis zum Anschluss an das Pumpwerk immer ansteigend verlegt sein; sogenannte Luftsäcke dürfen unter keinen Umständen darin vorkommen, sowie auch scharfe Biegungen möglichst zu vermeiden sind. Ist das Entnahmerohr nicht Saug-, sondern nur Zubringerohr, wie die Kanäle auch Zubringer sind, die in einen besteigbaren Saugschacht ihr Wasser ergiessen, aus welchem es dann weiter gefördert wird, so ist natürlich das Gefälle nach diesem Schacht gerichtet, und die Rückschlagsklappen kommen in Wegfall; die Anordnung eines Zubringerohrs oder Kanales in Verbindung mit einem am Ufer gelegenen Saugbrunnen hat den Vorteil, dass das Saugrohr nicht unter Wasser gelegt werden muss, wo es während des Saugens unter grösserem Drucke steht und möglicherweise durch undichte Stellen schlechtes Wasser eingesaugt werden kann. Auch ist in dem Saugschachte der Saugkorb und das Rückschlagventil zugänglich für jede Reinigung und Ausbesserung. Zweckmässig ist es, längere Saugröhren in einen begehbaren Kanal zu verlegen, um sie immer beaufsichtigen zu können. Zu vermeiden ist, wenn möglich, das Einbauen von Absperrschiebern in die Saugleitungen, da ein unzeitiges Schliessen derselben bei Pumpenbetrieben erhebliche Schäden verursachen kann.

Fig. 21 (s. Seite 126) stellt ein solches Entnahmerohr mit Saugschacht dar.

Nachfolgend gebe ich kurze Beschreibung einiger ausgeführter Anlagen.

Die Stadt Buenos Aires entnimmt ihren täglichen Wasserbedarf von 100000 cbm dem La Plata-Fluss, dessen sehr trübes Wasser durch Filtration nutzbar gemacht wird. Das Wasser des La Plata gelangt zuerst in einen 900 m vom Ufer entfernten Saugschacht, von wo es durch einen 5,6 km langen Tunnel zum Pumpwerke geleitet wird.

Die Stadt St. Gallen wird aus dem Bodensee mit Wasser

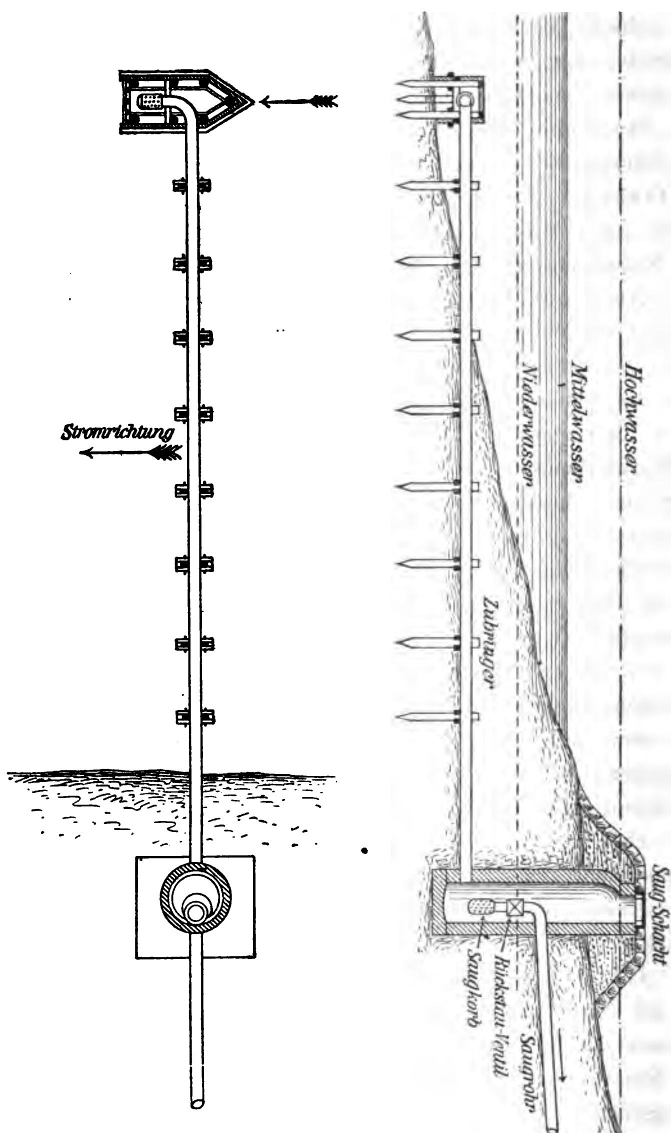

Stromrichtung
Hochwasser
Mittelwasser
Niederwasser
Zubringer
Saug-Schacht
Saugrohr
Rückstau-Ventil
Saugkorb

Fig. 21.

versorgt. Die Seeleitung besteht aus Mannesmannröhren von 500 mm D., welche von 20—30 m (oder 2—3 Rohrlängen) mit Kugelgelenken verbunden sind und in einem 8,0 m über dem Seegrund und 55,0 m unter dem Wasserspiegel liegenden Saugkorbe endigen. Das Verlegen dieser Röhren geschah durch Versenkung. Die Kosten der Seeleitung betrugen einschliesslich eines Durchlasses unter der Eisenbahn und eines Schachtes für Schieber und Rücklaufklappe 42 000 Frcs. — Das Seewasser wird noch filtriert.

Fünfter Abschnitt.

Die Gewinnung oder Fassung der unterirdischen Gewässer.

Die Grundwasser sammeln sich teils in den Klüften und Höhlungen der Gesteinsschichten, teils, und zwar zum grössten Teile, in den Verwitterungsmassen der zu Tage tretenden Gesteine. Diese Verwitterungsmassen lagern entweder noch über ihrem Muttergesteine, oder sie sind durch die Tagwässer bereits nach tiefer gelegenen Örtlichkeiten, den Thälern, abgeschwemmt, und haben diese mit der Zeit in grösster Ausdehnung und Möglichkeit ausgefüllt. Dies Schwemmland ist wegen seiner Tieflage und grossen Ausdehnung der reichhaltigste Grundwasserträger.

Die in den Gebirgsschichten und ihnen auflagernden Grusen eingeschlossenen Wasser können gewöhnlich, sobald sie aufgeschlossen sind, durch ihr natürliches Gefälle der Benutzung zugeführt werden, während die im tiefgelegenen Schwemmlande vorhandenen Wasser künstlich auf die erforderliche Höhe gehoben werden müssen.

Häufig öffnet sich den unterirdischen Wassern ein natürlicher Ausweg, und sie treten als Quellen zu Tage, so dass es nur bestimmter Vorkehrungen bedarf um die austretenden Wasser in

Behälter zu fassen, von wo aus sie ihrer Bestimmung zugeleitet werden können. Diese Art Wassergewinnung, die Quellenfassung, wird in einem andern Abschnitte behandelt, im vorliegenden Abschnitte handelt es sich um die Erschliessung der unterirdisch verlaufenden Wasser. In Bewegung sind alle unterirdischen Wasser, einerlei ob sie sprudelnd zu Tage treten oder ob sie auf ihrer unterirdischen Wanderung von einem Oberflächengewässer unsichtbar aufgenommen werden. Die unterirdische Bewegung des Grundwassers ist jedoch wegen des im allgemeinen sehr ausgedehnten Abflussquerschnittes und wegen der grossen Reibungswiderstände eine höchst langsame, oft kaum merkliche. Man kann also wohl von Grundwasserströmen sprechen und doch ein Grundwassergebiet auch als einen Grundwasser-Behälter bezeichnen, der je nach den Witterungsverhältnissen wechselnde Wasserstände aufweist.

Mit dem Wasserstande eines Grundwasser-Behälters wechselt auch die von demselben unterirdisch abgeführte Wassermenge. Diese Wassermenge ist für jeden Grundwasserstrom eine bestimmte, durch die aus den ober- und unterirdischen Niederschlägen herrührenden Zuflüsse bedingte. Durch künstliche Absenkung des natürlichen Grundwasserstandes kann man wohl zeitweilig, aber nicht dauernd die Abflussmenge aus einem Grundwasser-Behälter erhöhen, weil der Ersatz aus den Niederschlagswassern sich nicht erhöhen lässt. Mit Rücksicht auf die Art der örtlichen Entstehung der unterirdischen Wasseransammlungen muss man auch bezüglich der Wassergewinnung in verschiedener Weise vorgehen, je nachdem der Grundwasser-Behälter aus einem ausgedehnten System von Spalten, Klüften und Hohlräumen der Gesteinsschichten oder aus den Zwischenräumen besteht, welche die sie überlagernden Gesteinstrümmer, sowie auch die Geschiebe und den Schwemmboden in sich bergen.

Erschliessung der Wasseransammlungen in dem zerklüfteten Gebirge.

Wo ein Grundwasserreservoir sich gebildet hat, ist immer eine wasserhaltende Gesteinsschicht die Unterlage desselben; je tiefer diese wasserhaltende Trennungsschicht liegt, desto

wahrscheinlicher ist die unsichtbare unterirdische Ableitung der Grundwasser über derselben. Erhebt sich der Grundwasserstand bis nahe an die Erdoberfläche oder über dieselbe, so treten aus einzelnen Spalten des zerklüfteten Gebirges stellenweise kleine Quellen aus, deren Ergiebigkeit mit dem Grundwasserstande wechselt und wovon einzelne manchmal zeitweise ganz ausbleiben, um mit dem Wachsen des Grundwassers wieder zu erscheinen. Treibt man in einen solchen Gebirgsstock in grösserer Tiefe, aber immer über der wasserhaltenden Schicht, einen Stollen in solcher Richtung, dass die Gesteinsschichten gegen ihn einfallen, so kann man durch seitliche Schlitze im Stollen darin all die nach ihm verlaufenden Wasserfäden sammeln. Versieht man den Stollen mit einer oder streckenweise mit mehreren Abschlussthüren, so kann man den Wasserbezug je nach dem jeweiligen Grundwasserstande regeln, so dass der Grundwasserbehälter nicht über seine Leistungsfähigkeit beansprucht wird und sein durchschnittlicher Wasserstand dauernd erhalten bleibt. Der Anlage eines solchen Stollens müssen natürlich sorgfältige Untersuchungen der geologischen Verhältnisse der Örtlichkeit vorausgehen, insbesondere ist die Umgebung genau darauf hin zu besichtigen, ob sich keine Anzeichen eines unterirdischen Wasserablaufes, wie z. B. Bodeneinsenkungen, erkennen lassen. Durch Wahrnehmung solcher unterirdischen Abflüsse wird die Wassergewinnung oft wesentlich erleichtert, indem gewöhnlich eine nicht sehr tief gehende Aufdeckung genügt, den Wasserlauf freizulegen und zu fassen.

Die Öffnung eines unterirdischen Wasserbehälters innerhalb eines Gebirgsstockes mittels Stollen oder Aufdeckung seiner unterirdischen Abflüsse setzt immer voraus, dass der Niederwasser-Spiegel dieses Behälters nicht sehr tief unter der Erschliessungsstelle sich befindet, gewöhnlich sogar höher als dieser Ort liegt, sowie dass die Klüfte und Hohlräume, welche den Behälter bilden, im allgemeinen eine aufrechte, nicht liegende Erstreckung von der wasserhaltenden Schicht nach oben haben, so dass seitliche Abflüsse besonders in der oberen Schicht nur gering sein können und häufig sogar nur zeitweise fliessen. Der Wasserspiegel dieser hochgelegenen Grundwasser-Behälter steht in unmittelbarer Verbindung

mit der oberirdischen Atmosphäre durch die zu tage gehenden Risse und Spalten, obgleich dieselben meist noch von einer mehr oder minder mächtigen Schicht der Verwitterungstrümmer überdeckt sind. Diese Reservoirs erhalten auf diesem Wege teils unmittelbare Zuflüsse von Niederschlagswassern der Oberfläche, teils unterirdische Niederschläge selbst durch den beständigen Luft- und Temperaturwechsel im Innern des Gebirgsstockes, welcher durch diese nach oben ausgehenden Spalten vermittelt wird. Die Grösse der zu erhaltenden Wassermenge lässt sich erst nach der Erschliessung durch Messungen und Beobachtung der Grundwasserstände im Laufe des Jahres ermitteln; die Wasserlieferung erreicht ihren Höchstwert, wenn dabei der Grundwasserstand nicht unter den durchschnittlichen abgesenkt wird. Die Schwankungen der Grundwasserstände mit dem Wechsel der Witterungsverhältnisse und Jahreszeiten sind um so geringer, je grösser der Fassungsraum des unterirdischen Behälters im Verhältnis zur Abflussmenge ist, und umgekehrt kann man aus den geringen Schwankungen der Wasserstände auf eine verhältnismässig grosse Ausdehnung des Behälters schliessen. Die Wasserstandsschwankungen sind aber auch dann geringer, wenn die Zuflüsse, welche den Behälter speisen, nur zum geringen Teile oder gar nicht aus unmittelbaren Zuflüssen von Oberflächenwasser bestehen, die nur zur Regenzeit und während der Schneeschmelze und dann oft grosse Wassermengen ergeben, während in der trockenen Zeit diese Art Zuflüsse ganz versagen. Sind die aufwärts gehenden Spalten von mächtigen Schichten Trümmergestein und Grus bedeckt, welche die in sie eindringenden Oberflächenwasser längere Zeit festzuhalten vermögen, dann gelangen auch die Zuflüsse von der Oberfläche nur allmählich durch die Spalten in das Felsenreservoir, sie sind nicht mehr so stark als die unmittelbaren Zuflüsse, aber zeitlich gleichmässiger verteilt. Dasselbe gilt von der Speisung durch die unterirdischen Niederschläge, welche einerseits auch von den Witterungsverhältnissen und den Jahreszeiten abhängig sind, andrerseits aber auch durch den Wassergehalt einer mächtigen Überdeckung von Trümmergesteinen beeinflusst werden; letztere begünstigt unter allen Umständen die gleichmässigere Verteilung der

Zuflüsse, sowie die Befeuchtung der Grundluft und damit die Grösse der unterirdischen Niederschläge. Den gleichen Einfluss hat ein dichter Waldbestand mit Unterholz, Streu- und Moosdecke. Wenig bepflanzte Oberflächen, oder stark geneigte, führen die Niederschlagswasser rasch zu Thal und sind im allgemeinen trocken, können also die Speisung der unterirdischen Behälter nicht wirksam fördern und vermögen nicht auf die Abführung der ungleichmässigen oberirdischen Niederschläge ausgleichend einzuwirken.

Auch die Lage des Oberflächengeländes gegen die herrschende Windrichtung ist von Bedeutung. Bei höheren Gebirgsrücken empfängt z. B. die gegen Südwest abfallende Seite die grössten oberirdischen Niederschläge (in den Alpen die Südseite), und auf der Seite der herrschenden Windrichtung findet immer ein lebhafter Austausch der Luft zwischen unterirdischer und oberirdischer Atmosphäre statt, wodurch weiter die unterirdischen Niederschläge begünstigt werden. Westwinde sind in Deutschland gewöhnlich feucht, Ostwinde trocken, Südwinde warm, Nordwinde kalt; und je nachdem die Oberfläche des über einen unterirdischen Wasserbehälter sich erstreckenden Gebietes dem einen oder dem andern Winde mehr oder weniger ausgesetzt ist, sind auch die ober- und unterirdischen Niederschlagsverhältnisse verschieden. Dabei kommt weiter in Betracht, ob das obere Ausgehende der Gesteinsschicht mit seinen Steinscheiden in diese oder jene Windrichtung sich erhebt. Man sieht, die Einflüsse auf die Speisung eines unterirdischen Wasserbehälters sind so mannigfaltig, ja verwickelt, dass man aus der Oberflächen-Gestaltung und Kultur, sowie aus der Lage eines Sammelgebietes höchstens allgemeine Schlüsse bezüglich der Grösse der Sammelmenge ziehen, aber nie auch nur annähernd die wirkliche Grösse derselben bemessen kann.

Die Güte des Wassers bezüglich seiner Verwendbarkeit ist um so höher, je weniger unmittelbare Zuflüsse in den Behälter gelangen, je gleichmässiger die Zuflüsse zeitlich verteilt sind; chemische und mechanische Verunreinigungen werden um so weniger vorhanden sein, je mehr dem Behälter Wasser aus unterirdischen Niederschlägen zugeführt wird.

Ein lehrreiches Beispiel der Wassergewinnung mittels Stollenbau bietet die Wasserversorgung von Wiesbaden, wo der wasserführende Gebirgsstock im Innern aus stark zerklüftetem Quarzit besteht, der nach aussen von wenig durchlässigem Gestein ummantelt ist. In dieses Gebirge wurde ein Stollen in solcher Höhenlage getrieben, dass das erhaltene Wasser noch die für die Wasserversorgung erforderliche Gefällhöhe hat. Der Kanal ist zur Aufnahme der seitlichen Zuflüsse stellenweise geschlitzt. Die Gesamtlänge des Stollens beträgt 3000 m, wovon etwa 2000 m sich in der äusseren Ummantelung erstrecken. Die Ungleichmässigkeit der Zuflüsse ist durch Einbau von Stollenthüren mit dem Wasserbedarfe in Einklang gebracht. Die Thüren sind aus Schmiedeeisen und durch Gummiringe auf dem Anschlage abgedichtet. Hinter diesen Thüren, von denen zwei angebracht sind, wird das Wasser in der Weise angestaut, dass der Überschuss bei reichlichen Speisezuflüssen zur Benutzung während der trockenen Zeit aufgespeichert wird. Die Wasserentnahme wird durch Schieber seitlich der Thür bewirkt und geregelt. Die örtliche Lage der Stollenthüren ist bestimmt durch vorhandene seitliche Abflüsse des unterirdischen Sammelbehälters, indem die Stauung durch eine Dammthür diese Höhe nicht ganz erreichen soll, um Abflüsse ins Freie zu vermeiden. Die Entfernung dar nächsten Thür richtet sich teils nach dem Auftreten einer wenig durchlässigen Schicht, wo sie angebracht werden kann, und noch vorhandenen Abflüssen ins Freie, deren Höhenlage die zweite Staustufe auch nicht überschreiten darf. Durch den Einbau der Thüren wird der zwischen den wenig durchlässigen Schichten aufgestaute Wasserspiegel ein stufenförmiger.

Die oben beschriebene Art der Wassergewinnung ist eine seltener vorkommende, indem solche natürliche Hochbehälter mit aufrechter Ummantelung sich nicht häufig finden. Häufiger sind die tief gelegenen durch liegende Schichten nach unten und oben abgesperrten unterirdischen Wasserbehälter innerhalb eines zerklüfteten Gebirges. Diese Behälter erhalten ihre Zuflüsse durch damit zusammenhängende, aufwärts gerichtete Schichten und Spalten; je höher diese Speisekanäle sich über ihre tieferen Sammler erheben und mit Wasser füllen,

desto grösser wird die Pressung, unter welcher das Wasser im Sammelbehälter steht. Die Höhe, bis zu welcher diese Pressung steigen kann, ist von der Höhenlage der vorhandenen Abflüsse abhängig, die an irgend einer Stelle vorhanden sein müssen. Um einen solchen unterirdischen Druckbehälter zu erschliessen, muss man dessen Überdeckung, die oft aus einer Anzahl Schichten besteht, durchbohren. Sobald das Bohrloch das eingeschlossene Wasser erreicht, steigt dieses in der Bohrröhre auf dieselbe Höhe, wie in den Speisekanälen. Liegt die obere Mündung des Bohrloches tiefer als der Wasserstand in den Speisekanälen, so steigt das Wasser über die Bohrlochmündung und ergiesst sich über die Oberfläche. Die Steighöhe des freien Strahles und seine Wassermenge sind abhängig von der Grösse der Zuflüsse, welche ausreichen müssen, um in den Speisekanälen den zum Übersteigen des Bohrloches erforderlichen Überdruck zu erhalten.

Man bezeichnet gewöhnlich derartige unter Pressung stehende Grundwasseransammlungen als artesische Grundwasserströme und sucht sie damit von den anderen Grundwasserströmen zu unterscheiden. Die Grundwasseransammlungen stehen aber alle unter demjenigen Drucke, welchen die Höhenlage ihrer Abflüsse bedingt, und nach aussen wird dieser Druck mehr oder minder stark auftreten, je nachdem man den Grundwasserbehälter in seinen grössten Tiefen oder in seinen oberen Wasserschichten erschliesst; je tiefer der Aufschliessungsort an der Oberfläche gegenüber dem Oberwasserspiegel des Sammelbehälters liegt, desto höher wird das Wasser über die Oberfläche sich erheben. Aus ein und demselben unterirdischen Behälter kann man von oben durch Erbohrung das Wasser zu Tag fördern als artesische Quelle, und bei vorhandenem tiefen Seitenthale, an welches der Behälter sich anlehnt, auch mittels Stollen erschliessen als gewöhnliche Quelle. Die Unterscheidung von artesischen Grundwasserströmen erscheint mir daher überflüssig, um so mehr als aus dem Worte „artesisch“ sich weiter nichts ableiten lässt, als dass in der französischen Provinz „Artois“ vorwiegend solche Bohrbrunnen angelegt wurden, welche Sammelbehälter mit Druckwasser erschlossen. Manche wollen sogar nur diejenigen Brunnen als artesische gelten lassen, bei denen das

Wasser sich über die Oberfläche erhebt, solche aber, deren Wasserspiegel die Oberfläche nicht erreicht, nicht als artesische, sondern als gewöhnliche Brunnen bezeichnen. Auf geneigter Oberfläche kann man nun zwei Bohrlöcher in geringer Entfernung voneinander, aber mit verschiedener Höhenlage ihrer Mündungen in ein und denselben Grundwasserbehälter treiben, so dass bei dem einen Bohrloch das Wasser übersteigt, bei der höher gelegenen Mündung des anderen Bohrloches die Oberfläche aber nicht erreicht; das Wasser gleichen Ursprungs wäre daher in dem einen Falle artesisches, in dem andern nicht. Wenn man den Erschliessungsort eines Sammelbehälters tief genug legt, so erhebt sich dessen Wasser dementsprechend immer über die Erdoberfläche, und so könnte man jedes Grundwasser als „artesisch“ bezeichnen.

Ich unterscheide die Grundwasser nur nach der Natur ihres Sammelortes, ob dieser in den Gesteinsschichten der unsere Erdrinde bildenden Formationen, oder in deren Verwitterungstrümmern entweder am Entstehungsort der Verwitterungen oder im Schwemmlande zu finden ist.

Die von liegenden, wasserhaltenden Schichten überdeckten unterirdischen Sammler finden sich häufig, durch Zwischenlagerung tieferliegender, wasserhaltender Schichten voneinander getrennt, in mehrfacher Zahl übereinander ohne irgend einen Zusammenhang miteinander. Man bezeichnet diese übereinander gelagerten Wasseransammlungen als Wasserstockwerke.

Je nach der Herkunft ihrer Zuflüsse haben die Wasser der verschiedenen Stockwerke oft sehr verschiedene Beschaffenheit und Druckhöhe, so dass das eine sehr gut verwendbar, das andere aber ungeniessbar ist; oder das Wasser eines Stockwerkes erhebt sich über die Mündung des Bohrloches, dasjenige eines benachbarten Stockwerkes erreicht aber diese Steighöhe nicht. Bezüglich der Natur der Zuflüsse gilt auch das, was oben für die Zuflüsse zu den Sammlern in aufwärts gerichteten Ummantelungsschichten erwähnt wurde. Die Temperatur der erbohrten Wasser ist jedoch häufig eine beträchtlich höhere, sowie auch ihre chemische Beschaffenheit wesentlich von dem Durchschnittswasser abweicht, wenn der Sammelort in grosser Tiefe unter der Erdoberfläche

sich befindet, und mittels Bohrung kann man sehr grosse Tiefen erreichen. Für Wasserversorgungszwecke eignen sich die aus grossen Tiefen geförderten Wasser gewöhnlich nicht.

Sehr tief liegende Wasserbehälter erhalten ihre Zuflüsse häufig durch Verdichtung von stark gespannten, heissen Dämpfen, welche aus dem Erdinnern durch die zerklüfteten Gesteine in die Höhe steigen in Schichten, wo die Temperatur eine geringere ist. In diesem Falle steht auch das Wasser unter der Pressung des Dampfes. Zahlreiche warme Sprudel, die auf natürlicher oder künstlicher Bahn den Weg ans Tageslicht fanden, werfen mit dem Wasser zugleich eine grosse Menge heisse Dämpfe aus, welche das aufsteigende Wasser mitgerissen hat. Manche dieser Wasser sprudeln nur zeitweise und zwar mit regelmässigen Pausen, während welcher die Dämpfe sich sammeln, bis ihre Spannung wieder genügt, um das Wasser über die Erdoberfläche zu schleudern.

Zur Berechnung der Steighöhe eines Sprudels für verschiedene Grössen der Wasserentnahme oder verschiedene der Bohrlöcher dient nachfolgend entwickelte Gleichung unter der Voraussetzung, dass die Länge der Bohrröhre immer dieselbe bleibt und ebenso der Koeffizient des Reibungswiderstandes. Bezeichnen M_1 und M_2 zwei verschiedene Ausflussmengen, V_1 und V_2 die durchschnittliche Geschwindigkeit in der Bohrröhre, H_0 die vom Sammelbehälter ausgehende Pressung in Meter Wassersäule ausgedrückt, H_1 den Druckverlust bei M_1 cbm Wasserentnahme in der Sekunde und H_2 der Druckverlust bei M_2 cbm Wasserentnahme, und wenn ferner noch D_1 und D_2 die verschiedenen Lichtweiten zweier Bohrlöcher sind, so hat man folgende Beziehungen:

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{D_2 \cdot V_1^2}{D_1 \cdot V_2^2} = \frac{D_2 \cdot M_1^2}{D_1 \cdot M_2^2}$$

$$H_1 = \frac{H_2 \cdot D_2 \cdot M_1^2}{D_1 \cdot M_2^2}; \quad H_2 = \frac{H_1 \cdot D_1 \cdot M_2^2}{D^2 \cdot M_1^2}.$$

Die Sprudelhöhe, d. h. die Erhebung des Wasserstrahles über die Mündung der Bohrröhren ist

$$h_1 = H_0 - H_1 = H_0 - H_2 \frac{D^2 \cdot M_1^2}{D^1 \cdot M_2^2}$$

$$19)\ M_2 = M_1 \cdot \sqrt{\frac{D_2 \cdot H_2}{D_1 \cdot H_1}}$$

Bei gleicher Grösse von D_1 und D_2 nimmt die Sprudelhöhe ab mit dem Quadrate der zunehmenden Ausflussmenge und nimmt zu mit dem Wachsen des Durchmessers D, wenn die Abflussmengen M_1 und M_2 gleichwertig sind. Bei gleichem Druckverlust H_1 und H_2 nimmt die Abflussmenge mit der Quadratwurzel aus der Lichtweite des Bohrloches zu und ab.

Durch Verminderung der Sprudelhöhe erhält man grössere Abflussmenge, sowie umgekehrt der Zunahme der Sprudelhöhe eine Abnahme der Abflussmenge entspricht. Vorausgesetzt ist dabei auch, dass die Abflussmenge nicht grösser wird als die Zuflüsse des unterirdischen Behälters, denn in diesem Falle würden Ausflussmenge und Sprudelhöhe schliesslich einen Wert erlangen, welcher dem Gleichgewichte zwischen Zufluss und Abfluss entspricht. Bezeichnet man mit M_0 die Zuflussmenge,

$$\text{so ist } M_0 = M_2 = M_1 \sqrt{\frac{H_2}{H_1}}, \text{ worin}$$

M_1 und H_1 als bekannt angenommen werden können;

$$H_2 = H_1 \frac{M_0^2}{M_1^2}, \text{ daher}$$

$$20)\ h_0 = H_0 - H_1 \frac{M_0^2}{M_1^2}.$$

Dieser Wert h_0 gibt demnach diejenige Sprudelhöhe, bei welcher für ein bestimmtes Bohrloch die Abflussmenge gleich der Zuflussmenge ist. Eine dauernde Erhöhung über diese Sprudelhöhe ist nicht möglich, wenn nicht gleichzeitig der Zufluss ein stärkerer wird. Die Grösse von H_1 und M_2 für eine Sprudelhöhe h_1, die kleiner als h_0 ist, lässt sich durch Versuche ermitteln, sowie auch M_0. Treibt man mehrere Bohrlöcher in dasselbe Grundwasserreservoir, so liefern diese verschiedene Ergebnisse bei gleicher Weite der Bohrröhre, je nachdem die oberen Ausmündungen der Bohrlöcher in verschiedener Höhenlage sich befinden oder auch die Bohrröhre den Grundwasserbehälter in verschiedener Tiefe unter der Ausmündung erschliesst, so dass die Länge der Bohrröhren und auch

die Höhe des Aufsteigens des Wassers im zerklüfteten Gesteine schon wesentlich andere werden für die einzelnen Bohrschalen. Dasjenige Bohrloch, welches dem Aufsteigen die geringsten Widerstände entgegensetzt, und dessen Ausmündung am tiefsten liegt, wird die grösste Sprunghöhe erlangen, das meiste Wasser liefern, welches es den andern Nachbarlöchern entzieht. Die Grösse der Reibungswiderstände beim Aufsteigen des Wassers bis zur Ausmündung sind nicht nur von der Länge der Bohrschale, sondern unterhalb derselben von der Natur des Gesteines abhängig, ob dasselbe eng- oder weitmaschig zerklüftet ist. Der Widerstand in der geraden, glatten Bohrröhre ist auf den steigenden Meter verteilt, fast immer geringer als der durch die vielfach gewundenen, engen und vielgestaltigen Spalten der wasserführenden Schichten.

Das Wasser hat häufig nicht die erforderliche Pressung, um über die obere Ausmündung abfliessen zu können; in diesem Falle muss es *mittels Pumpen gehoben werden*, wobei sich der Wasserspiegel in der Bohrschale in derselben Weise *mehr oder weniger tief absenkt*, je nach der geförderten Wassermenge, wie auch die Sprudelhöhe von dieser beeinflusst ist.

Die unterirdischen Reservoirs erstrecken sich gewöhnlich *in grosser Ausdehnung* nach mehreren Richtungen, weshalb auch oft weit von einander entfernte Bohrbrunnen bezüglich der Wassermenge von einander abhängig sind; jede Mehrentnahme bei dem einen vermindert den Abfluss bei dem andern.

Manchmal werden ein oder *mehrere Wasserstockwerke* mit der Bohrschale *durchfahren*, wenn deren Wasser in Güte und Menge nicht genügt und das Wasser einem unterliegenden Stockwerke entnommen werden soll; in diesem Falle müssen die Bohrröhren in Längs- und Stossfugen gut verdichtet sein, um das Eindringen minderwertigen Wassers zu verhindern. Soll *aus mehreren übereinander liegenden Stockwerken zugleich Wasser entnommen werden*, so geschieht dies am besten durch besondere Bohrschalen für jedes Stockwerk, weil jedes derselben gewöhnlich auch eine andere Pressung oder Steighöhe des Wassers hat.

Die Weite der Bohrröhren ist gewöhnlich 100—600 mm, und man macht dieselbe nicht zu eng, weil sonst jede spätere Nachhilfe und Ausbesserung daran erschwert wird; andrerseits hat eine grössere Lichtweite verhältnismässig nicht sehr grossen Einfluss auf die Ergiebigkeit. Wenn der Bodendruck gegen die Bohrröhre mit der Tiefe allmählich so gross wird, dass eine Überwindung der Reibung beim Absenken des Rohres ohne Gefahr für dieses nicht mehr möglich ist, dann ist man genötigt, für die weitere Vertiefung der Rohrfahrt ein engeres Rohr in dem oberen weiten Rohre abzusenken; die einelnen Rohrstücke werden aber nicht tiefer versenkt, als dass das weitere obere Rohr noch über das enge hinübergreift, um eine Dichtung zwischen beiden bewirken zu können; eine derartige teleskopische Vertiefung kann eine mehrfach abgestufte sein. Lässt man von den ineinander geschobenen Röhren jede einzelne bis zu Tag herauf reichen, so ist man in der Lage, nach Bedürfnis jede Röhre wieder herausziehen zu können. Weitere Angaben über Bohrungen finden sich in dem Abschnitte über Bohrbrunnen.

Erschliessung der Wasseransammlungen in den Trümmergesteinen und dem Gruse, welcher das Ursprungsgestein überlagert.

a) Der Einfluss der atmosphärischen Luft in Verbindung mit Feuchtigkeit und Frost bewirkt eine chemische und mechanische Zersetzung aller an die Oberfläche ragenden Gesteine, welche die Erdrinde bilden. Die ursprünglich geschlossene Gesteinsmasse zerbröckelt in grössere und kleinere Stücke bis zum körnigen Gruse, sowie dem mehligen Lehme und knetbaren Thon. In diesen Verwitterungsschichten bilden sich die ersten Anfänge des Pflanzenlebens, durch dessen Weiterentwickelung die Umbildung, und Zerkleinerung der Verwitterungen noch mehr gefördert wird. Je nach der Oberflächengestaltung mit mehr oder weniger geneigten Abhängen, sowie auch je nach dem Pflanzenwachstum, besonders Bewaldung der Bodenflächen, bleiben die Verwitterungen mehr oder weniger an deren Entstehungsort lagern

und häufen sich *in verschieden mächtigen Schichten über ihrem Muttergesteine* an, dieses vor weiteren Verwitterungen schützend. Stark geneigte Abhänge haben nur wenig dicke Verwitterungsschichten, und sind sie zugleich wenig mit Pflanzen bedeckt, so erscheint meist der nackte, von Regen- und Schneewasser abgewaschene Felsen. Andrerseits findet man auf wenig geneigten Abhängen, besonders am Fusse von Steilabhängen, welche jene überragen, häufig ausgedehnte Ablagerungen der Verwitterungen, in welche die von den Steilabhängen abfliessenden Regen- und Schneewasser teilweise eindringen und hier, mit den anderen Niederschlagswassern vereinigt, langsam abwärts fliessen, bis sie an tiefer gelegenen Orten als Quellen zu Tag treten oder in vielen einzelnen Wasserfäden unsichtbar und ganz allmählich zuerst eine Wasserrinne und endlich im nächsten Thale einen kleinen Bach bilden. Damit in der Verwitterungsschicht ein Grundwasserstrom sich bilden kann, darf das unterlagernde Muttergestein nur wenig oder gar nicht wasserdurchlässig sein, so dass die eindringenden Niederschlagswasser sich über dieser wasserhaltenden Schichte sammeln können.

Um einen solchen Grundwasserstrom zu fassen, legt man in die meist nicht sehr dicke Verwitterungsschicht ein System von Entwässerungsröhren unmittelbar über dem Muttergesteine; die einzelnen Entwässerungen werden möglichst senkrecht zur Gefällrichtung des Grundwasserstromes und nach einem Hauptstrange zusammenlaufend verlegt, so dass alle unterirdischen Wasseradern durchschnitten werden. Die Oberflächenbildung gibt, soweit sie noch die natürliche ist, die Gefällrichtung des Grundwasserstromes an, indem diese Bildung ein Ergebnis der Wasserbewegung ist. Die Entwässerungsröhren sind gelochte Thon- oder Cementröhren, mit offenen Stossfugen verlegt und danach mit Kies, Steinschlag und grobem Sand umhüllt und gedeckt.

Durch die Bodenentwässerung wird der Grundwasserstand abgesenkt und damit das Gefälle und die Abflussgeschwindigkeit vermehrt, so dass in trockener Jahreszeit durch diesen grösseren Abfluss der Grundwasserträger völlig entwässert werden kann. Eine solche Entleerung liegt jedoch nicht im Interesse einer

ständigen Wasserversorgung, weshalb der Abfluss in dem Masse geregelt werden muss, dass der durchschnittliche Abfluss und der Zufluss sich ausgleichen. Die Regelung des Abflusses ist dadurch zu bewirken, dass man die thalabwärts gerichtete Seite der Entwässerungskanäle mit wasserdichtem Materiale verfüllt, wie Letten, Lehm, fettem Boden und dergl., und damit gleichsam Querdämme senkrecht zur Gefällrichtung des Grundwassers unterirdisch anlegt, welche dieses stauen.

Auch der Sammelkanal erhält wasserhaltende Querdämme, um eine Absickerung längs dieses Sammelkanales zu verhindern. Der Sammelkanal mündet zunächst in einen Sandfang oder eine Klärkammer, diese in eine Reinwasserkammer, wo man eine Messvorrichtung, so wie einen Über- und Leerlauf anzubringen hat, gerade wie bei den Quellenfassungen. Für die Aufnahme der freien Wasseradern genügen die kleinen Drainageröhren von 40 und 50 mm, deren Weite man im unteren Verlaufe eines Stranges auf 80—100 mm vergrössern kann. Je grobkörniger der Grundwasserträger, desto grösser sein Fassungsraum und seine Wasserabgabe, und dementsprechend ist auch die Rohrweite verschieden zu wählen für einen lockeren, aus groben Steintrümmern zusammengesetzten, oder einen aus geschlossenem, feinkörnigem Boden bestehenden Grundwasserträger. In letzterem haben sich wegen Mangels an Abfluss, der besonders auch noch durch dichte Bepflanzung der Oberfläche, Moos- und Streudecke gehindert wird, meist viele Sumpfstellen gebildet, die durch die Entwässerung trockengelegt werden. Die Entwässerung hat jedoch immer nur in dem Masse zu geschehen, dass eine zeitweise gänzliche Entleerung des Grundwasserträgers vermieden wird. Ein besonderes Hilfsmittel zur Erreichung möglichst gleichmässiger Verteilung der Grundwasser auf die verschiedenen Jahreszeiten besteht darin, dass man zur Zeit des Wasserüberflusses das Wasser nicht durch den Sammelkanal abführt, sondern teils schon aus den Seitenkanälen, teils auch aus den oberen Strecken des Sammlers entweder bis zu einem Überlaufe aufstaut oder mittels Pumpen und anderer Schöpfvorrichtungen über die Oberfläche hebt und in eigens dafür angelegte Verteilungsgräben leitet. Diese Verteilungsgräben sind mit möglichst

geringem Gefälle in die Bodenoberfläche eingeschnitten, so dass das Überschusswasser hier genügend Zeit hat, wieder zu versickern, soweit es nicht verdunstet, um dadurch von neuem zur Speisung der Entwässerungskanäle beizutragen. Die in Entfernungen von etwa 100 m und in den Kreuzungspunkten zusammentreffenden Kanäle, eingebauten Sichtschachte, können zugleich auch für diesen Wasserumschlag dienstbar gemacht werden, indem man sie mit verschliessbaren Überläufen ausrüstet, welche andrerseits in die obengenannten Verteilungsgräben münden.

Der Sammelkanal wird gewöhnlich aus Mauerwerk und zwar in seinen unteren Strecken begehbar oder doch mindestens schlüpfbar hergestellt. Soweit der Sammler in dem Grundwasserträger liegt, ist er ebenso wie die Seitenkanäle durchlässig nach der Wasserseite angelegt; da, wo er durch trockenes Gelände zieht, ist er nach allen Seiten wasserdicht hergestellt, um Verluste des Sammelwassers zu verhindern.

Um das Eindringen unreiner Oberflächenwasser in die Entwässerungskanäle zu verhüten, besteht die Überdeckung aus wasserundurchlässigem, eingeschlemmtem, festem Boden und erhebt sich etwa 0,50 m über die Bodenfläche der Umgebung, wodurch über dem Entwässerungskanal ein kleiner Damm gebildet wird. Die an der Bergseite dieses Dammes sich sammelnden Oberflächenwasser werden durch Rinnen abgeleitet.

Weiter ist zu beachten, dass Bäume nicht in der Nähe von Saugröhren stehen dürfen, weil die Wurzelausläufe derselben durch die Spalten und Öffnungen dieser Röhren dringen, innerhalb dieser fortwachsen und sogenannte Wurzelzöpfe bilden, welche den Durchflussquerschnitt mehr und mehr verengen; eine Entfernung der Bäume auf etwa 10 m ist daher erforderlich. An Stellen, wo die enge Nachbarschaft von Bäumen nicht zu vermeiden ist, muss die Rohrleitung eine völlig geschlossene sein und die Stossfugen müssen durch Cementmörtel oder Asphalt verdichtet sein; Thondichtungen werden von den Wurzelfasern durchbohrt.

Zum Zwecke etwa nötiger Reinigung mittels Bürstendurchzug müssen die Rohrleitungen und Kanäle zwischen je zwei Schichtschächten eine gerade Linie bilden.

Die Wassermengen, welche aus den Schichten der Verwitterungen über deren Muttergestein bezogen werden können, sind mit Rücksicht auf die geringe Mächtigkeit dieser Schichten oft kaum 1,0 m, stellenweise 5,0 m, sowie auch die verhältnismässig nicht sehr weite Ausdehnung derselben, im allgemeinen nur für kleinere Bedürfnisse genügend.

b) Grössere Wassermengen findet man erst in dem *tiefer gelegenen Schwemmlande*, zunächst in den grösseren Gebirgsthälern, welche die *obere Stufe des Schwemmlandes* bilden, die an ihrer unteren Grenze durch beträchtliche Erweiterungen ihres Gebietes sich an die ausgedehnten Schwemmländer der grossen Flussthäler und Niederungen anschliesst. Die obere Stufe des Schwemmlandes vom Fusse der Gebirgsausläufe aufwärts bis zu den oberen Ablagerungen über dem Muttergesteine hat sich über den natürlichen Thalwegen durch den Absturz und die Anschwemmung der Verwitterungen gebildet. Daraus ergibt sich, dass die Mächtigkeit der Schwemmschichten über dem natürlichen Thalwege mit der Länge des Thalweges zunimmt, mit der Zunahme des Thalgefälles aber sich verringert. Gegen den Thalausgang sind die Anschwemmungen verhältnismässig am stärksten und um so stärker, je länger der Thalweg und je geringer dessen Gefällverhältnis ist. Die Ablagerung der Verwitterungstrümmer erfolgt im allgemeinen nach dem Gesetze der Schwere, so dass die Grösse der einzelnen Trümmerstücke in der Längsrichtung des Schwemmthales von oben nach unten abnimmt, in der senkrechten Richtung der Tiefe aber von oben nach unten zunimmt.

Im allgemeinen findet man nach dem Vorhergehenden am meisten Wasser, je mehr man sich dem unteren natürlichen Thalwege nähert, sowie je weiter man abwärts gegen das untere Ende des Schwemmthales die Wasserfassung verlegt. Der Grundwasserstrom bewegt sich in den Anschwemmungen der Thäler in lauter kleinen Wasserfäden nach dem Thalwege. Die Richtung des Grundwasserstromes hat gegen die Richtung des Thalweges eine bestimmte Neigung, welche hauptsächlich durch das Verhältnis des Gefälles des Thalweges zum Quergefälle bestimmt wird. Je mehr das Gefälle des Thalweges gegenüber dem Quer-

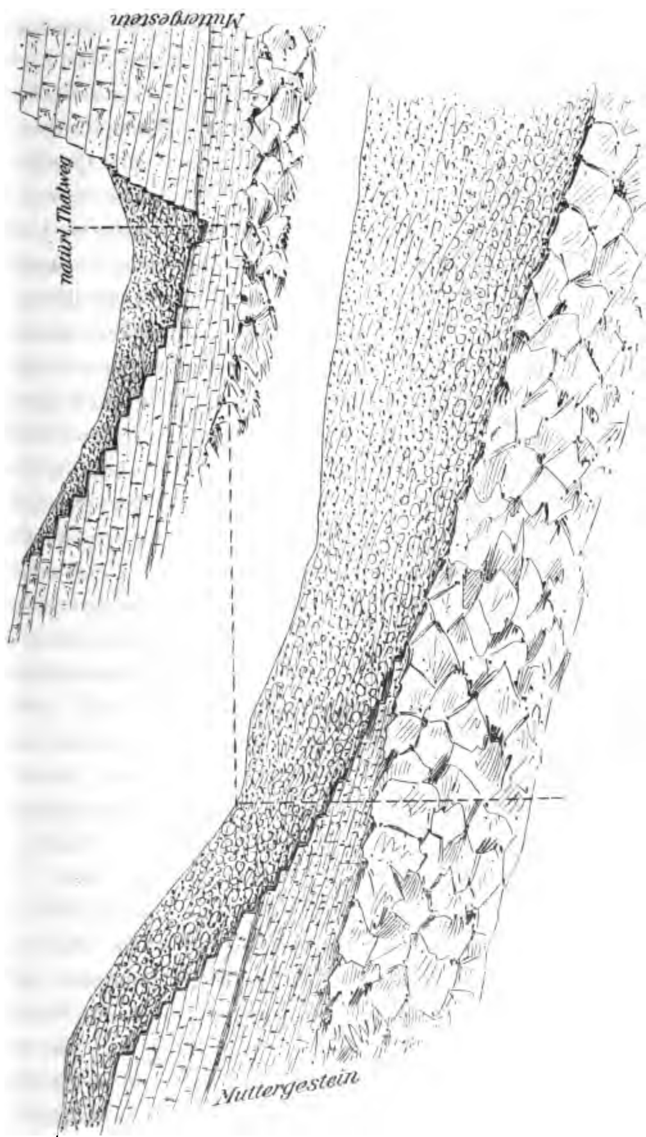


Fig. 22 ist ein Längenschnitt in der Richtung des Thalweges.
Fig. 23 ist ein Querschnitt senkrecht zur Richtung des Thalweges.

gefälle des Thales überwiegt, desto spitzer wird der erwähnte Neigungswinkel, d. h. desto mehr nähert sich die Richtung des Grundwasserstromes der Parallelen zum Thalweg, und desto grösser ist die Stromlänge der einzelnen Wasserfäden, bis sie den Thalweg erreichen und sich mit dem hier ablaufenden Sammelwasser vereinigen. Ist das Gefälle des Thalweges gleich dem Quergefälle, dann ist im allgemeinen die Neigung des Grundwasserstromes zum Thalwege = 45°, und dieser Winkel wird noch grösser, je mehr das Quergefälle zunimmt. Subtile Rechnungen über die wirkliche Grösse dieser Neigungswinkel und über die Kurvenbildung des Grundwasserspiegels anzustellen, ist für die Ausführungsarbeiten zwecklos, weil für solche Rechnungen ohnehin wegen des mannigfaltigen Wechsels der Bodendurchlässigkeit, die sich unsrer Kenntnis entzieht, die sichere Grundlage völlig mangelt. Für die Ausführung genügt, ob der Grundwasserstrom rasch oder erst nach längerem Verlaufe dem Thalwege sich nähert. Im ersten Falle genügen eine oder mehrere Fassungsanlagen, welche bis zum Thalweg hinabreichen und auf dessen nächste Umgebung sich beschränken; im zweiten Falle ist eine Fassungsanlage erforderlich, welche vom Thalwege über dem Muttergesteine oder einer undurchlässigen Schicht sich über die Thalbreite erstreckt, wenn der Grundwasserstrom möglichst zur Fassung gelangen soll. In den unteren Ausläufen der Schwemmthäler, wo das Gefälle in der Richtung des Thalweges oft schon sehr gering wird, kann man daher zur Wassererschliessung Brunnen, in den höher gelegenen Abschnitten dieser Thäler im allgemeinen nur Sammelkanäle zur Wasserfassung anwenden.

Zwischenlagerungen von wasserhaltenden, thonigen Schichten kommen nur vor, wenn der Wasserabfluss aus einem Thale durch stellenweise grosse Schuttanhäufungen zeitweise gehemmt und angestaut wurde; in diesem Falle konnten die feineren Sinkstoffe, wie Thone, in dem ruhigen Wasser sich absetzen und den Boden überdecken. Nach späterem Durchbruche eines solchen Stauwalles senkte sich das Wasser wieder und nahm rascheren Ablauf, wodurch die Thonschicht wieder mit Steinschutt und Gerölle überlagert wurde. Im allgemeinen kommen solche Bildungen periodischer

Anstauungen in den Schwemmthälern nicht häufig vor; nur da, wo z. B. Thäler durch weite Thalkessel unterbrochen sind, die thalwärts einen engeren Ausgang haben, sowie in schluchtenförmigen Thalstrecken können sich solche zeitweise Thalsperren durch Trümmeranhäufung öfter bilden.

Wenn irgend möglich, sucht man der Wasserfassungsanlage eine solche Höhenlage zu geben, dass das Wasser mittels seines natürlichen Gefälles, ohne künstliche Hebung, zum Verwendungsort geleitet werden kann. Die Erschliessungsstelle muss also entsprechend höher liegen, als der Verwendungsort, ausserdem sollen die Einmündungen von Seitenthälern auch noch oberhalb der Erschliessung liegen, um auch deren Zuflüsse nutzbar zu machen; und ferner ist darauf Rücksicht zu nehmen, dass der Grundwasserspiegel an der fraglichen Stelle nicht sehr tief unter der Oberfläche liegt. Zu diesem Zwecke deckt man den Grundwasserspiegel über dem Thalwege auf, was gewöhnlich durch Ausheben eines Versuchschachtes bewirkt werden kann. Von diesem Versuchsschachte legt man dann thalwärts und in der Höhe des Grundwasserspiegels einen Ablaufgraben an, der je nach dem Oberflächengefälle in grösserer oder kleinerer Entfernung vom Versuchsschachte an der Oberfläche sein Ablaufswasser über diese ergiesst. Die Abflussmenge wird, nachdem zwischen Grundwasserspiegel und Abfluss Gleichgewicht eingetreten ist, gemessen unter gleichzeitiger Feststellung der Höhe des Grundwasserspiegels im Versuchsschachte. Darauf vertieft man den Schacht immer mehr, bis man das Muttergestein des Thales oder eine wasserhaltende Schicht antrifft; in demselben Masse wird der Abzugsgraben vertieft. Gleichzeitig mit der Vertiefung nimmt man Messungen der Abflussmenge vor und die Absenkung des Grundwasserspiegels, welche dieser Abflussmenge entspricht. Je weniger der Grundwasserspiegel gegen seine ursprüngliche Höhe abgesenkt wird, desto mehr Wasser läuft seitwärts des Versuchsschachtes im Grundwasserträger zu Thal; dasselbe gilt, wenn die Abflussmenge im Verhältnis zur Vertiefung des Abzugsgrabens nur wenig zunimmt. Dagegen ist ein rasches Absenken des Grundwasserstandes, sowie ein rasches Zunehmen der Abflussmenge bei fortschreitender Ver-

tiefung ein sicheres Zeichen, dass der Grundwasserstrom starkes Gefälle gegen den Thalweg hat. (Geneigte Lagerung von Bodenschichten, sowie deren Durchlässigkeit sind hierfür bestimmend.)

Für den weiteren Aufschluss des Grundwasserträgers hebt man nun einen zweiten Versuchsschacht aus auf der kürzesten Linie vom ersten Schachte bis zum weniger geneigten Thalgehänge und vertieft diesen zweiten Schacht ebenfalls bis auf das Muttergestein oder die vorhandene wasserhaltende Schicht und versieht ihn mit einem Abzugsgraben, bis zur Oberfläche ausgehend. Misst man nun die von beiden Schächten gleichzeitig abfliessenden Wassermengen mit Q_1 und Q_2 und war die vom ersten Schacht vor der Herstellung des zweiten gemessene Abflussmenge Q_0, so ist nun der Zuwachs durch den zweiten Schacht $(Q_1 + Q_2) - Q_0 = Q_x$. Ist $Q_0 = Q_1$, d. h. hat sich die Abflussmenge im ersten Schachte durch Herstellung des zweiten nicht verändert, dann ist $Q_x = Q_2$; je mehr aber Q_1 durch Q_2 beeinflusst, d. h. je kleiner Q_1 gegen Q_2 wird, desto geringer ist der wirkliche Wassergewinn durch die Abteufung des zweiten Schachtes.

Stellt man weiter die Höhe des Grundwasserspiegels fest in beiden Schächten, sowohl für den Fall, dass der Abfluss daraus gesperrt als für den, dass der Gleichgewichtszustand zwischen Spiegelhöhe und Abflussmenge erreicht ist, so erhält man daraus das Gefällverhältnis des natürlichen, wie des abgesenkten Wasserspiegels zwischen den Thalgehängen und dem Thalwege. Aus der Grösse des Gefällverhältnisses am natürlichen Grundwasserspiegel lässt sich beurteilen, ob in dem Grundwasser eine grössere oder geringere Strömung nach dem Thalwege oder längs desselben stattfindet. Durch die Veränderungen im Gefälle infolge der Absenkungen ersieht man, ob durch die Öffnung eines zu Tag gehenden Abflusses das ursprüngliche, natürliche Gefällverhältnis mehr oder weniger verändert wird.

Je grösser die Wasserzunahme Q_x durch Anlage des zweiten Schachtes und je kleiner das Gefälle zwischen den beiden abgesenkten Wasserspiegeln in Schacht eins und zwei wird, desto weniger gelingt es, durch eine einzige Fassungsanlage über dem Thalwege

dem Grundwasserstrom eine verhältnismässig grosse Wassermenge zu entziehen; zu diesem Zwecke muss man die Fassungsanlage quer über das Thal rechts und links vom Thalwege verlängern, was zunächst durch eine Reihe von Schachten oder Brunnen bewirkt werden kann. Die Anzahl der erforderlichen Aufschlussbrunnen ist, wie oben erwähnt, durch Versuchsschachte, die je nach der Breite des Thales in entsprechender Anzahl anzulegen sind, festzustellen. Da nun jeder Aufschlussbrunnen eine Aufschlussleitung haben muss, die sich thalwärts mit der Hauptabflussleitung vereinigt, so entsehen hierdurch unter Umständen grosse Kosten, wenn nämlich die Brunnen in nicht sehr grossen Abständen voneinander liegen, oder sehr tief gehen, so dass die Abflussleitungen schwierig herzustellen sind. In solchem Falle ist zu erwägen, ob es nicht zweckmässiger ist, nur eine einzige Abflussleitung über dem Thalwege anzulegen und den Brunnen über dem Thalwege zum Sammelbrunnen für die übrigen zu gesalten, welche mit demselben durch eine sämtliche Brunnenabflüsse aufnehmende Leitung verbunden sind. Diese Verbindungsleitung besteht in diesem Falle am zweckmässigsten aus einem Kanale, der am besten begehbar oder wenigstens schlüpfbar hergestellt wird. Die Brunnen haben hier nur den Zweck der Sicht- und Lüftungsschachte, und ihre Zahl ist auch auf dies Bedürfnis zu beschränken. Der Verbindungskanal ist zugleich Saug- und Sammelkanal und er wird zu diesem Zwecke in der Richtung thalaufwärts mit offenen Fugen, bei starken Wasseradern mit Schlitzen hergestellt; die Kanalsohle wird möglichst auf das Muttergestein oder eine wasserhaltende Schicht gelegt und in diesem Falle die Sohle auch wasserdicht hergestellt, wie auch die thalwärts gerichtete Seite des Kanales.

Die Verfüllung der Kanalbaugrube wird in der Weise bewirkt, dass thalwärts, sowie oberhalb des Kanales (über demselben) möglichst lehmiger Boden verfüllt und festgestampft wird, wodurch man gleichsam eine unterirdische Thalsperre errichtet, welche den Grundwasserstrom staut und zum Abfluss durch den Sammelkanal zwingt. Durch Anlage eines derartigen Kanales ist man in der Lage, dem Grundwasser möglichst viel Wasser zu ent-

ziehen, und durch Anlage einer unterirdischen Thalsperre hat man ein Mittel, den Grundwasserträger als Sammelbecken zum Ausgleiche der mit den Jahreszeiten wechselnden Grundwassermengen zu verwenden, indem man den Abfluss aus dem Sammelschachte nach Bedürfnis reguliert. Die Verfüllung der Kanalbaugrube thalaufwärts hat mit reinem Schottermaterial, die gröberen Schichten nächst dem Kanale, zu geschehen; gegen die Thaloberfläche wird auch hier wasserdichtes Material aufgeschüttet, um das Eindringen von Oberflächenwasser zu verhüten.

Fig. 24 gibt den Querschnitt durch einen schlüpfbaren Sammelkanal dessen Sohle auf dem Muttergesteine aufruht. Durch die

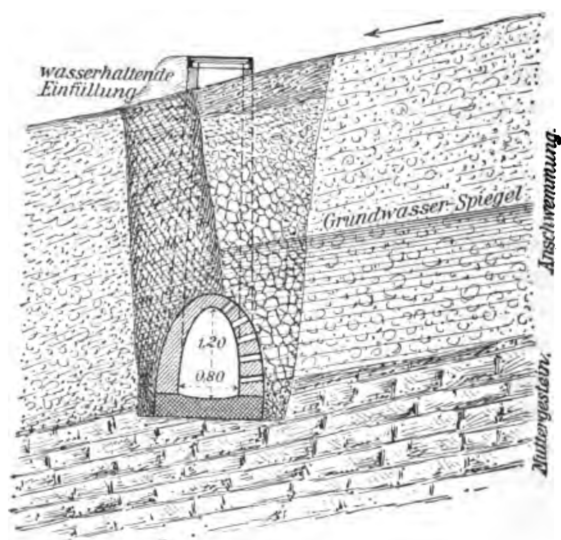


Fig. 24.
(Massstab 1:100.)

punktierten Linien ist die Aufmauerung des besteigbaren Sammelschachtes angedeutet, welcher etwa 0,25 m über die Bodenoberfläche hinausgeführt wird, um ihn vor Einschwemmungen zu schützen. Die Sicht- und Lüftungsschächte können je nach der Ausdehnung der ganzen Anlage teils besteigbar, teils nur durch Röhren von 200 mm über die Oberfläche geführt werden.

Die unterirdische Sperrwand wird nicht auf die ganze Höhe bis zur Oberfläche geführt, wenn man die in den oberen Schichten verlaufenden Wasser nicht in die Sammelanlage aufnehmen will. Sitzt der Sammelkanal nicht unmittelbar auf einer wasserhaltenden Schicht, d. h. ist das Muttergestein selbst wasserführend, so kann man die Kanalsohle auch durchlässig anlegen, um das von unten aufdringende Wasser in den Kanal zu leiten. Ein Aufstau des Grundwassers durch eine Sperrwand ist in diesem Falle nicht mehr in hohem Masse möglich, weil infolge höheren Staudruckes das Wasser unter der Sammelanlage durch das wasserführende Muttergestein abfliesst.

Fig. 25 (s. S. 150) stellt einen Sammelbrunnen dar, in welchen beiderseits zwei begehbare Sammelkanäle münden und von dem die Abflussleitung Ausgang nimmt; die Abflussmenge kann durch einen Stellschieber nach Bedarf geregelt werden. Der Einsteigeschacht kann auch über dem Stellschieber angeordnet werden, wie es im Grundrisse der Fig. 25 (S. 150) durch punktierte Kreislinien angedeutet ist; diese Anordnung ist empfehlenswert, wenn das Wasser zeitweise aufgestaut werden soll, da man in diesem Falle durch eine im Schacht aufsteigende Schlüsselstange den Stellschieber von oben handhaben kann. Auch ist dann in der grössten Stauhöhe ein Überlaufrohr im Schachte thalwärts abzuzweigen, wie dies durch punktierte Linien bei Fig. 25 bemerkbar ist. Die Lüftung kann wie bei Kanalisations-Schächten durch Öffnungen in der gusseisernen Abdeckung mit untergelegtem Schmutzblech oder durch seitlichen besonderen Lüftungsschacht mit Entwässerung (punktiert angedeutet) bewirkt werden. Die Sohle des Sammelschachtes liegt tiefer als die Kanalsohle, wodurch man die Möglichkeit hat, die Messvorrichtungen vor den Kanalmündungen anzubringen und auch etwa im Wasser zugeführte Sinkstoffe im Sammelraum sich absetzen zu lassen. Führt das Wasser viel Sinkstoffe, so kann man durch eine Zwischenmauer eine Reinwasserkammer mit dem Abflussrohre absondern, in welche das Wasser durch Überfall aus der Zulauf- oder Klärkammer gelangt; die Brunnenkammer erhält in diesem Falle eine grössere Ausdehnung als die in Fig. 25.

Öfter tritt der Fall ein, dass für eine beabsichtigte Wasserversorgung das Wasser aus einem der Schwemmthäler nicht aus-

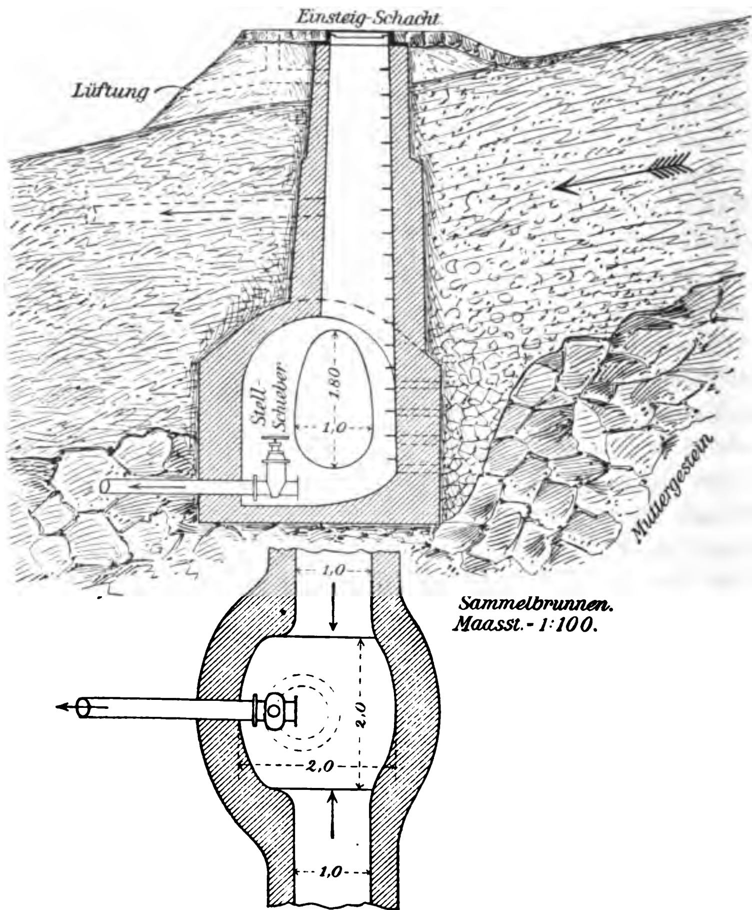


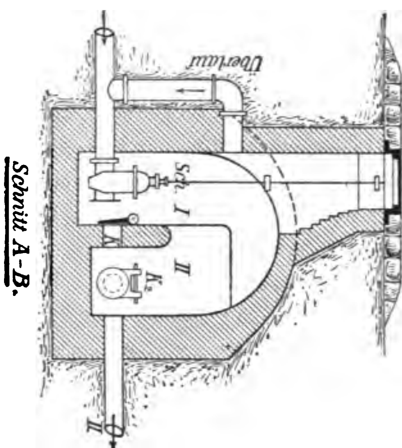
Fig. 25.

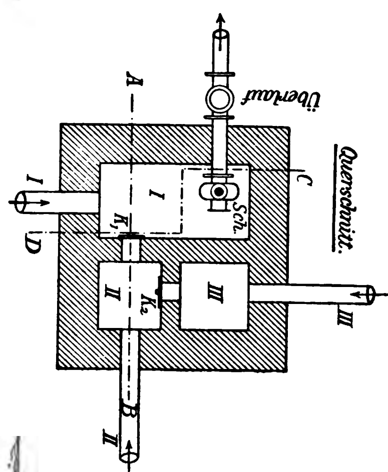
reichend ist und deshalb das Wasser aus zwei oder mehreren Thälern der oberen Stufe des Schwemmlandes gefasst und zusammengeleitet werden muss. In der Regel haben die Wasser

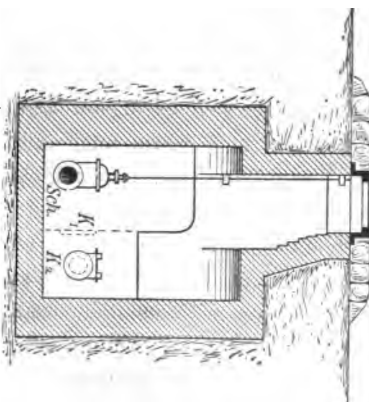
der verschiedenen Thäler nicht nur verschiedene Zuflussmengen, sondern auch verschiedene Druckhöhen und muss die Sammelanlage derselben in solcher Höhenlage sich befinden, dass auch das Wasser, welches die geringste Druckhöhe besitzt, noch vollständig dahin abfliessen kann. Solange der Gesamtzufluss den Abfluss nicht übersteigt, findet ein Rückstau in den verschiedenen Sammelanlagen nicht statt; sobald aber dies eintritt, so findet eine Anstauung statt, welche sich aufwärts in die Sammelkanäle und sogar in die Grundwasserträger erstrecken kann. Die Anstauung erstreckt sich dann besonders in das am tiefsten gelegene Sammelgebiet, wo unter Umständen durch diesen Rückstau Versumpfungen entstehen können. Es ist daher vor allem ein Überlauf in der Sammelkammer anzuordnen, dessen Höhe durch die Höhenlage des tiefsten Sammelgebietes bestimmt ist, so dass hier ein bestimmter Hochwasserstand nicht überschritten wird. Ferner ist die Einrichtung zu treffen, dass zunächst immer erst das Wasser des tiefsten Sammelgebietes zum Abfluss gelangt und dann erst immer das nächst höher gelegene in dem Masse noch hinzugezogen wird, wie es die Abflussmenge erfordert. Diese Regelung des Wasserzuflusses nach der Höhenlage der Sammelgebiete bewirkt man dadurch, dass jedes Sammelgebiet in eine besondere Abteilung der Sammelkammer sein Wasser ergiesst; jede dieser Abteilungen steht mit der nächst vorhergehenden durch eine Rückschlagklappe in Verbindung. (Siehe Fig. 26, S. 152).

Die Rückschlagklappen öffnen sich erst, wenn in der ihnen vorliegenden Abteilung das Wasser seinen tiefsten Stand erreicht hat. Das Wasser aus dem Sammelgebiete von geringster Druckhöhe ergiesst sich unmittelbar in Abteilung *I*, worin auch Ablauf und Überlauf sich befinden; das Wasser aus dem Sammelgebiete von mittlerer Druckhöhe gelangt zunächst in Schacht *II* und aus diesem in Schacht *I* durch die Klappe K_1, sobald der Abfluss grösser wird als der Zufluss aus dem Sammelgebiete *I*. Das Wasser aus dem Sammelgebiete *III* mit der grössten Druckhöhe ergiesst sich zunächst in Schacht *III* und erst wenn der Abfluss grösser ist als der Zufluss aus *I* und *II*, öffnet sich die Klappe K_2, um das Wasser aus Abteilung *III* in Abteilung *II* abzulassen.

Fig. 26. Querschnitt und zwei Aufrisse.







Sammelschacht mit Stauklappe.
(Massstab 1 : 100.)

Die Klappeneinrichtung ist demnach das Mittel, um das Wasser der oberen Druckgebiete zu sparen und in der Zeit genügenden Zufluss aus den unteren Druckgebieten anzusammeln.

Ein mit dem Abflusse in Verbindung stehendes Überlaufrohr verhindert die Anstauung des Wassers über eine vorausbestimmte Höhe.

Zur Sicherung eines guten Abschlusses, sowie auch Öffnung der Klappen bei dem Wechsel der Wasserstände kann man diese auch mittels Charnierhebeln mit Schwimmern in Verbindung setzen, welche bei hohem Wasserstande die Klappe festdrücken, bei niederem aber aufheben.

Nebenstehende Fig. 27 stellt eine mit Schwimmerhebel ausgerüstete Klappe dar; die Öffnung unterstützt der Schwimmer durch Zugkette, den Schluss durch Hebeldruck. Die punktierten Linien gelten für den Klappenschluss.

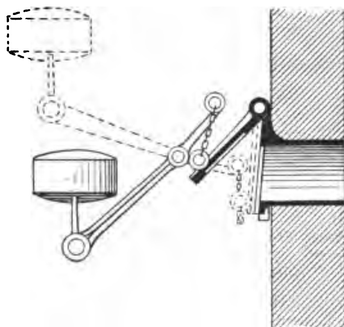


Fig. 27.

Die Schwemmthäler der oberen Stufe, von dem Fusse der Vorberge bis hinauf zum eigentlichen Gebirgsstock sich ziehend, haben noch ein sehr starkes Oberflächengefälle, und die Grundwasserspiegel liegen nicht sehr tief, so dass von der Fassungsanlage ab das Wasser in kürzerer oder längerer Leitung durch natürliches Gefälle zu Tage und häufig sogar mit der erforderlichen Druckhöhe bis zum Versorgungsorte gefördert werden kann.

Entgegengesetzt liegen die Verhältnisse gewöhnlich bei

c) *der unteren Stufe des Schwemmlandes* in den ausgedehnten grossen Flussthälern, die sich gegen das Meer in weit gestreckte Niederungen ausbreiten. Das Gefälle der Bodenoberfläche und der Grundwasserströme ist hier in der Regel ein sehr geringes, so dass die Grundwasser für Versorgungszwecke künstlich gehoben werden müssen.

Der natürliche Thalweg, das Muttergestein der Erdrinde, liegt gewöhnlich in grosser Tiefe unter der Oberfläche, so dass die Schwemmschichten oft eine Mächtigkeit von vielen hundert Metern erreichen. Sie verdanken ihre Entstehung verschiedenen geologischen und Kultur-Abschnitten und sind je nach dem Wechsel dieser aus mehr oder minder verschiedenen einzelnen Schwemmschichten zusammengesetzt, und es wechseln darin wasserdurchflüssige und wasserhaltende Schichten, grobe Geschiebe und Gerölle mit feinem Sande und geschlemmtem Thone ab. Im allgemeinen nimmt die Derbheit der Geschiebe und Gerölle mit der Entfernung von den Gebirgen ab; nur unter stärkerer Strömung können die Geschiebe auf dem Flussbette weitergerollt werden, während die feinen Sande sich erst in langsam fliessenden und die Thone in dem ruhenden Wasser ablagern.

Meist findet man daher auch in den unteren Schwemmländern mehrere Wasserstockwerke übereinander, deren Wasser bezüglich ihrer Temperatur und chemischen Beschaffenheit und bezüglich ihrer Steighöhe oft wesentlich von einander abweichen.

Die Grundwasserströme der Schwemmländer erhalten ihre Zuflüsse aus den Klüften und Spalten der sie umsäumenden Abhänge, sowie aus deren Verwitterungstrümmern; diese Wasser senken sich im Schwemmlande unter stetiger Vermehrung aus ihrer Nachbarschaft immer tiefer hinab bis zum Schwemmlande der unteren Stufe, in dessen Grundwasserströme sich diejenigen der oberen Stufe ergiessen. Besteht der Grundwasserträger der unteren Stufe aus mehreren Wasserstockwerken, so ergiesst sich der Grundwasserstrom der oberen Stufe in dasjenige Wasserstockwerk, dessen wasserführende Schicht mit dem Grundwasserträger der einmündenden oberen Stufe in natürlichem Zusammenhange steht. Das Wasser in den verschiedenen Stockwerken ist daher so verschieden, wie die Sammelorte der oberen Stufe und die Beschaffenheit der Stockwerke. Die untere Stufe des Schwemmlandes erhält aber einen wesentlichen Zufluss auch aus in die Oberfläche eingeschnittenen Rinnsalen der Bäche, Flüsse und Ströme, sowie auch aus den Seebecken, was in der oberen Stufe wegen des grösseren Gefälles

nur in geringem Masse der Fall ist. Während die Grundwasserströme der oberen Stufe mit denen der unteren Stufe in Zusammenhang stehen, sind dagegen im weiteren Verlaufe die Grundwasserströme mit den Oberflächenwassern in Verbindung, sei es mit den Seen oder mit den Meeren; die Grundwasser fliessen unterirdisch diesen Gewässern zu. Bei raschem Anwachsen der Gewässer, wie z. B. durch starke Niederschläge, dadurch veranlasste Überschwemmungen des Ufergeländes, durch Wachsen der Meeresflut, wird dieser Abfluss des Grundwassers nicht nur zeitweise gehemmt, sondern es tritt sogar eine umgekehrte Stromrichtung im Grundwasserträger ein, indem infolge der Stauung das Wasser der Oberflächengewässer in den Grundwasserträger dringt und dessen Wasserstand erhöht. Auf diesem Wege können also die Grundwasser zeitweise beträchtliche Zuflüsse erhalten, die nach dem Fallen der Oberflächengewässer wieder langsam in diese zurückfliessen, sobald der Grundwasserstand wieder, der Durchlässigkeit des Bodens entsprechend, höher als der Stand des ihn aufnehmenden Gewässers ist. Die Richtung eines Grundwasserstromes gegen das Oberflächengewässer ist hier auch bedingt durch die Gefällverhältnisse der wasserführenden Schichten des Grundwasserträgers, sowie deren Durchlässigkeit. Je nach Massgabe dieser Umstände ist der Verlauf eines Grundwasserstromes in mehr oder weniger spitzem Winkel gegen das ihn aufnehmende Oberflächengewässer gerichtet; durch Aufschlüsse des Grundwassers mittels Bohrröhren und Vergleich der Wasserstände in diesen Bohrröhren nach verschiedenen Richtungen kann man annähernd die Richtung des Grundwasserstromes feststellen, was insofern von Wichtigkeit ist, als man die Fassungsanlage im allgemeinen senkrecht zu dieser Richtung ausdehnt.

Nimmt man einen Punkt A als Ausgangspunkt und stellt hier durch Bohrung oder Schürfung die Höhe des obersten Grundwasserspiegels fest, so legt man in grösserer Entfernung E von A und in der vermutlichen Richtung des Grundwasserstromes ein zweites Bohrloch A_1 an; ferner oberhalb und unterhalb von A_1 und in Entfernung von A_1 und von A ein drittes Bohrloch C und tes B, siehe Fig. 28 (S. 156).

Die Entfernungen der Bohrlöcher von einander nimmt man zu $^1/_5$ E; die Meereshöhen der Grundwasserspiegel sind bei A = 156,0 m, bei A_1 = 152,0 m, bei B = 152,30 m und bei C = 151,80 m. Die Linie AC ergibt also das grösste Gefälle mit 4,20 m auf E Entfernung; um Sicherheit zu erlangen, ob noch ein grösseres Gefälle als dies unterhalb AC sich ergibt, stellt man noch das fünfte Bohrloch D her, wo der Wasserspiegel 151,90 Meereshöhe hat, also höher liegt als im Bohrloche C, woraus

Fig. 28.

ersichtlich ist, dass die Linie AC ziemlich genau mit der Gefällrichtung des Grundwasserstromes zusammenfällt. Hat man in dieser Weise die Gefällrichtung bestimmt, so stellt man in dieser zwischen A und C noch mehrere Bohrlöcher, z. B. noch 3 solche her, um die grössere oder geringere Gleichmässigkeit des Gefälles zu bestimmen. Durch die neuen Aufdeckungen mittels der Bohrungen a_1, a_2 und a_3, wo der Grundwasserspiegel eine Meereshöhe von 155,10, 154,00 und 152,8 m habe, wird ersichtlich, dass das Gefälle des Grundwasserstromes auf den einzelnen Teilstrecken nicht dasselbe

ist, und dass es zwischen a_2 und a_3 am grössten ist und von a_3 bis C wieder abnimmt.

Der streckenweise Übergang von einer Geschwindigkeit in eine andere, wie sie dieser Gefällwechsel bedingt, wird durch die verschiedenartige Durchlässigkeit des Grundwasserträgers veranlasst, wie sie durch den mannigfaltigen Wechsel der Korngrösse und durch Einlagerung wasserhaltender Schichten entstehen kann.

Folgt auf eine Teilstrecke mit grösserem Gefälle eine solche von kleinem, wie von a_2 bis a_3 und a_3 bis C, so geht daraus hervor, dass bei a_3 ein Thalweg im Grundwasserträger vorhanden ist, in dem eine grössere Wasseransammlung stattfindet als an den andern Punkten a_2 und C. Durch Bohrungen thalaufwärts und -abwärts von a_3 in den Linien AD, AA_1 und AB kann man den Verlauf dieses Thalweges, der gewöhnlich das Bett eines ehemaligen Oberflächengewässers ist, annähernd feststellen. Solche alten Strombetten innerhalb eines Grundwasserträgers eignen sich demnach besonders gut zur Aufnahme einer Fassungsanlage. Je näher man dabei die Fassungsanlage demjenigen Oberflächengewässer bringen kann, nach welchem der Grundwasserstrom gerichtet ist, desto mehr Wasser kann damit gewonnen werden.

Aus dem sichtbaren natürlichen Verlaufe der Oberflächengewässer, sowie ihrer alten nun verlassenen Betten, lässt sich häufig auch auf den Verlauf der unsichtbaren unterirdischen Gewässer schliessen; denn im allgemeinen liegt der Thalweg der Oberfläche annähernd senkrecht über dem Thalwege des Grundwasserstromes, wenn nicht Naturereignisse und besonders Kulturarbeiten, wie Stromregulierungen, Strassenbauten u. s. w. das Bett des Oberflächengewässers aus seiner natürlichen Lage gebracht haben.

Man sieht daher im allgemeinen, dass in einem weiten Thale der Stromlauf immer um so näher einer Thalseite sich nähert, je steiler die sie einfassenden Gehänge sind; und öffnet sich aus dem Thalgehänge von der einen oder anderen Seite ein grösseres Seitenthal, welches seine Oberflächen- und Grundwasser in das Hauptthal ergiesst, so wird man immer bemerken, dass der Lauf des Oberflächenstromes im Hauptthale (wenn nicht gewaltsam

daran verhindert) sich rasch in stark gekrümmtem Bogen diesem Seitenthale nähert zur Aufnahme von dessen Zuflüssen.

Diese Laufwendung des Hauptstromes ist dadurch leicht erklärlich, dass durch die Einströmung der oft beträchtlichen Wassermengen der Seitenthäler vor deren Mündung das Hauptthal gleichsam ausgewaschen, vertieft wird; diese Vertiefung des Thalgrundes und die damit verbundene Vermehrung des Thalgefälles nach diesen Mündungsstellen bewirken die Ablenkung des Hauptstromes in dieser Richtung, der unterhalb der Mündungsstelle wieder in den natürlichen Thalweg zurückkehrt. Je weiter der natürliche Thalweg von der Thalseite, wo die Einmündung stattfindet, entfernt ist, desto grösser wird die Ausbiegung des Stromlaufes im Hauptthale von seiner allgemeinen Laufrichtung. Gegen die steileren Abhänge eines Thales fallen daher diese Ausbiegungen kleiner aus als gegen die weniger steilen Abhänge.

In den Einbuchtungen der Thäler wird man daher immer um so mehr Wasser finden, je grösser diese Buchten sind. In der Nähe von Gehängen, welche in das Thal vorspringen, sogenannte Nasen, wird man nur sehr wenig Grundwasser finden, und zwar um so weniger, je steiler diese vorspringenden Winkel der Gebirgshänge sind.

Ist das natürliche oder ursprüngliche Bett eines Oberflächengewässers durch irgend eine Veranlassung verlassen, so kann man aus den noch vorhandenen Altwassern und den noch erkenntlichen alten Ufern den früheren Verlauf sich vergegenwärtigen und aus diesem auf den unterirdischen Verlauf der Grundwasser schliessen. Wenn ein Oberflächenstrom sich im Laufe durch Auswaschung des weichen Bodens sein Bett mehr und mehr vertieft hat, so sieht man sogar häufig die Grundwasser aus dem alten, nun über den Strom emporragenden Uferrande in seiner ganzen Ausdehnung herabrieseln, besonders an den erwähnten Einbuchtungen gegen Seitenthäler, wie man ja überhaupt bei vielen Flüssen mit durchlässigem Ufergelände während der Zeit ihres Niederwassers an den Ufern das Hervorquellen des Grundwassers beobachten kann. Solche Uferstellen, wo dies Quellen des Grundwassers besonders stark bemerkbar ist, deuten darauf hin, dass hierher das Haupt-

gefälle oder ein Thalweg des Grundwassers gerichtet ist, und in dieser Richtung die Anlage einer Fassung angezeigt erscheint.

Die Grundwasserströme ergiessen sich nicht nur seitlich von den Ufern in die Oberflächengewässer, sondern sie fliessen auch unter dem Bette derselben hinweg bis ihre Druckhöhe den Wasserdruck aus dem Strombette überwiegt, in welchem Falle sie durch die Sohle des Bettes in das Gewässer eindringen; häufig sind sie jedoch durch wasserhaltende Schichten unter dieser Sohle daran verhindert und gelangen erst nach Zurücklegung grosser unterirdischer Strecken zum Abfluss in ein Gewässer.

Derselbe Vorgang findet statt, wenn im Schwemmlande sich mehrere Wasserstockwerke, durch wasserhaltende Schichten getrennt, übereinander befinden; der oberste Grundwasserstrom nimmt seinen Abfluss in das nächstgelegene Oberflächengewässer, der folgende, zweite Grundwasserstrom zieht darunter hinweg, um in tieferen Lagen des Schwemmlandes dasselbe Oberflächengewässer oder auch ein anderes zu erreichen; ebenso fliessen das 3. u. s. w. Stockwerk immer noch nach tieferen Lagen des Schwemmlandes ab in die dort die Oberfläche bedeckenden Gewässer. Gefällrichtung und etwaige Thalwege der tieferen Wasserstockwerke kann man auch durch ihre Erschliessung mittels Bohrröhren, die ein seitliches Eindringen des Wassers der oberen Stockwerke verhindern, feststellen.

Nicht immer bedeutet die Erreichung einer neuen wasserführenden Schicht nach Durchbohrung der darüber liegenden wasserhaltenden auch ein neues Wasserstockwerk; wenn nämlich diese wasserhaltende Schicht in den Grundwasserträger zungenförmig eingelagert ist, so stehen die obere und untere wasserführende Schicht an der Spitze dieser Zunge miteinander in Verbindung; man hat also nicht einen völlig getrennten, sondern nur einen geteilten Grundwasserstrom vor sich, dessen Teilstrecken man in verschiedener Tiefe vorfand, deren Wasser aber gleiche Steighöhe, gleiche chemische Beschaffenheit und ziemlich gleiche Temperatur besitzt. Da diese wasserhaltenden Einlagerungen, lehmige Sande, Thone, ebenfalls Anschwemmungen sind, so ist die Zunge oder Spitze derselben stets stromaufwärts gerichtet, und je

mehr man sich dieser Spitze nähert, desto mehr erreicht man den einheitlichen ungeteilten Grundwasserstrom.

Die Höhe des Grundwasserstandes wechselt in bestimmtem Verhältnis mit dem Fallen und Steigen der Oberflächengewässer, deren Einwirkung auf den Grundwasserstand, um so rascher vor sich geht, je durchlässiger der Grundwasserträger ist und umgekehrt. In groben Kiesschichten mit verhältnismässig grossen Hohlräumen zwischen den einzelnen Stücken ist eine geringere Druckhöhe erforderlich bis zur Erzeugung einer bestimmten Abflussgeschwindigkeit als in den gröberen oder feinen Sandschichten, oder bei gleicher Druckhöhe, d. h. das Gefälle des Grundwasserstromes und die Geschwindigkeit dieses sind um so grösser, je gröber die einzelnen Geröllstücke des Grundwasserträgers sind.

Für die Geschwindigkeit des Grundwassers ist im allgemeinen folgende Gleichung gebräuchlich:

21) $S = E \cdot G_v$, worin S = Geschwindigkeit in Metern in der Sekunde, G_v = Gefällverhältnis $= \frac{H}{L} = \frac{\text{absolutes Gefälle}}{\text{Weglänge}}$, und E eine Erfahrungszahl bedeutet, die von der Durchlässigkeit abhängig ist.

Nach Lueger kann man für die praktischen Zwecke annehmen, dass allgemein

$$E = D.$$

D bezeichnet den mittleren Durchmesser des Kornes des Grundwasserträgers in Metern; für eine mittlere Korngrösse von $D = 1$ mm ist demnach $E = 0{,}001$ und $S = 0{,}001 \cdot G_v$

für $G_v = 1:100$ wird $S = 0{,}001 \cdot 0{,}01 = 0{,}00001$ m

„ „ $= 1:1000$ „ $S = 0{,}001 \cdot 0{,}001 = 0{,}000001$ „

„ „ $= 1:2000$ „ $S = 0{,}001 \cdot 0{,}0005 = 0{,}0000005$ „

Ein Grundwasserstrom von 1 km Breite und 1,0 m Tiefe mit Korngrösse von durchschnittlich 2 mm und einem Gefälle von 1:1000 würde demnach folgende Wassermenge in der Sekunde abführen, wenn die Hohlräume = $^1/_4$ des Gesamtquerschnittes sind:

$$W = \frac{1000 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}002 \cdot 0{,}001}{4} = 0{,}0005 \text{ cbm}$$

$$= 0{,}5 \text{ Sekundenliter}$$

oder um 1 cbm Wasser in der Sekunde zu erhalten, müsste der Grundwasserträger einen Querschnitt von 2000 . 1000 = 2 Millionen Quadratmeter, seine Hohlräume einen solchen von 500000 qm haben.

Weil nun die Gefällverhältnisse der Grundwasser in dem Schwemmlande der unteren Stufe, besonders in den Niederungen, im allgemeinen sehr kleine Werte ergeben wie 1 : 1000 bis 1 : 2000, so ersieht man hieraus, dass die Grundwasserströme im Verhältnis zu ihrer Ausdehnung nur ganz geringe Wassermengen abführen, solange die natürlichen Gefällverhältnisse nicht geändert werden. Zugleich kann man daraus erkennen, dass von den auf die Oberfläche des Schwemmlandes fallenden atmosphärischen Niederschlägen nur ein äusserst geringer Teil oder überhaupt nichts bis zum Grundwasser durch den Boden hinabsickert, denn sonst müsste die Abflussmenge der Grundwasser eine viel grössere sein als sie wirklich ist.

Nach obigem Beispiel ergibt ein Grundwasserstrom bei D = 2 mm und G_v = 1 : 1000 für eine Breite von 1000 m und 1,0 m Tiefe nur 0,5 Sekundenliter Wasser; dagegen ergibt die mittlere jährliche Niederschlagshöhe von 0,730 m, die man für deutsche Verhältnisse annehmen kann, eine Wassermenge für die Sekunde und für eine Fläche von 1000 qm im Durchschnitte von:

$$W = \frac{1000 \; . \; 0{,}730}{365 \; . \; 86400} = 0{,}0231 \text{ Sekundenliter}$$

auf eine Fläche von 1000 m Breite und 1,0 m Länge; würde man annehmen, dass $^1/_{10}$ der Niederschläge in das Grundwasser versickert, so würde zur Speisung des oben angeführten Grundwasserstromes von 0,5 Sek.-Liter ein Niederschlagsgebiet von 1000 m Breite und 216 m Länge genügen. Eine Längenerstreckung des Grundwasserstromes von 216 m ist aber in Anbetracht der grossen Längenerstreckung der Schwemmländer in Wirklichkeit nicht vorhanden, denn diese Grundwasserströme erstrecken sich oft viele Kilometer stromaufwärts. Selbst, wenn nur $^1/_{100}$ der Niederschläge dem Grundwasser von der Oberfläche seines Trägers zugeführt würde, würde sich erst eine Längenerstreckung des Grundwasser-

stromes von 2160 m ergeben; abgesehen davon, dass der Grundwasserstrom, sowohl durch die einmündenden Grundwasser der Seitenthäler und Thalgehänge als auch durch das zeitweise Steigen der Oberflächengewässer und endlich durch unterirdische Niederschläge bedeutende Zuflüsse erhält.

Die Oberflächenausdehnung eines Schwemmlandes ist daher bezüglich der darin abfliessenden Grundwassermengen im allgemeinen von keiner Bedeutung; die Niederschlagswasser laufen hier entweder über die Oberfläche ab nach den nächsten Gewässern, oder sie verdunsten wieder. Man kann dies auch daraus erkennen, dass die Oberflächengewässer infolge grösserer Niederschläge sofort steigen, während das Steigen der Grundwasser erst mehrere Tage nach diesem Anwachsen der Oberflächengewässer bemerkbar wird; umgekehrt ist ein Sinken des Grundwasserstandes nicht gleichzeitig mit dem Fallen der Flüsse und Seen, sondern findet erst allmählich später statt. Ein unmittelbarer Einfluss auf die Grundwasser durch einsickernde Niederschlagswasser findet demnach nicht statt. Wenn Einsickerungen stattfinden, so müssten diese sich auch rasch bemerkbar machen, weil der Weg von der Oberfläche zum Grundwasserspiegel in der Regel nur einige Meter beträgt.

Das Abfliessen des Grundwassers nach einem Oberflächengewässer, sowie das Einströmen von Wasser aus den letztgenannten in den Grundwasserträger kann man durch einen in der Nähe eines Gewässers angelegten Versuchsbrunnen feststellen. Solange der Wasserspiegel im Brunnen höher liegt als in dem benachbarten Gewässer, fliesst das Grundwasser in dieses; in diesem Falle hat das Wasser im Brunnen im Sommer eine geringere Temperatur als die des Gewässers, im Winter umgekehrt; auch ist die chemische Beschaffenheit und Reinheit von Sinkstoffen von derjenigen des Gewässers z. B. eines Flusses oft wesentlich verschieden. Senkt man nun durch fortwährendes Auspumpen den Wasserspiegel im Brunnen tief ab, so findet ein Wasserzufluss aus dem Gewässer in den Brunnen statt, Temperatur und Beschaffenheit des Wassers im Brunnen nähern sich je nach der Grösse dieses Zuflusses derjenigen im benachbarten Gewässer.

Bezeichnet man mit

T_g die Temperatur des reinen Grundwassers,
T_f „ „ „ „ Fluss- oder Seewassers,
T_m „ „ „ gemischten Wassers,
in Mischung { W_g „ sekundlich ausgepumpte Grundwassermenge,
W_f „ „ „ Flusswassermenge,

so ergibt sich folgende Gleichung:

$$W_g \cdot T_g + W_f \cdot T_f = T_m \cdot (W_g + W_f), \text{ woraus}$$

22) $\frac{W_f}{W_g} = \frac{T_m - T_g}{T_f - T_m}$ das Verhältnis des Flusswassers zum Grundwasser in der ausgepumpten gemischten Wassermenge ist. Durch Versuche mit verschiedenen Grössen der Absenkung des Wasserspiegels in dem Brunnen gegenüber dem gleichzeitigen Flusswasserspiegel kann man annähernd die Grenze dieses Senkungsverhältnisses bestimmen, bei welcher ein Eindringen des Flusswassers in den Brunnen beginnt; das Einfliessen des Flusswassers landeinwärts in den Grundwasserträger hat aber schon vor Erreichung dieser Grenze stattgefunden, je nachdem die Entfernung des Brunnens vom Flusse eine grössere oder kleinere ist. Durch Untersuchung der Wassertemperaturen innerhalb eines Oberflächengewässers kann man andrerseits Aufschluss erhalten, ob und wo Grundwasser durch das Bett eindringen.

Dieses Eindringen der Grundwasser in die Flüsse und Seen, sowie umgekehrt, ist um so wahrnehmbarer, je grösser die Temperaturunterschiede der Wasser sind. Die Temperatur des Grundwassers in den Schichten nahe der Erdoberfläche ist im allgemeinen ziemlich gleich der mittleren Jahrestemperatur der Luft über der Oberfläche, also zu allen Jahreszeiten annähernd gleich hoch, während die Temperatur der Fluss- und Seewasser mit der Lufttemperatur beträchtlich zu- und abnimmt. Die beste Beobachtungszeit der Wasserbewegung ist daher die warme Sommerzeit, wo die Temperaturunterschiede zwischen den sichtbaren und unsichtbaren Gewässern oft 8—15 Grad betragen. Kommen die in die Oberflächengewässer dringenden Grundwasser nicht aus dem oberen Schwemmlande, sondern aus den tiefer liegenden Schichten,

so hat das Wasser oft beträchtlich höhere Temperaturen als die mittlere Jahrestemperatur der Luft, und ihre Gegenwart in Flüssen und Seen ist dann um so leichter zu erkennen.

Ein äusserliches Zeichen des Eindringens von Grundwasser in das Bett eines Flusses oder Sees hat man in dem Erscheinen von Triebsand im Gewässer, sowie im Aufsteigen von Luftblassen; durch das Aufquellen des Grundwassers wird der im Bette aufgelagerte Sand gelockert, aufgetrieben und vom Wasser fortgeschwemmt, wodurch kleine Sandflüsse im Gewässer bemerkbar werden, an deren Ursprung die Grundwasserquellen zu finden sind. Diese Grundwasserquellen in dem Bette von Flüssen und Seen findet man häufig da, wo die Grundwasserströme der Seitenthäler in den Hauptstrom münden.

Die Gleichung 1, wonach

$$S = E \,.\, G_v, \text{ worin } E = D\, m \text{ ist,}$$

kann natürlich nicht dazu dienen, die wirkliche Geschwindigkeit des Grundwassers zu berechnen, denn sie setzt vor allem ein gleichmässiges Korn und Verteilung desselben innerhalb des Grundwasserträgers voraus, was jedoch nie der Fall ist. In ein und demselben Grundwasserträger wechselt die Korngrösse von oben nach unten, sowie auch in der Stromrichtung, ja derselbe kann aus mehreren verschiedenartigen wasserführenden Schichten zusammengesetzt sein, schwer- oder undurchlässige Einlagerungen können stellenweise den Grundwasserstrom hemmen und von seiner ursprünglichen Richtung ablenken, kurz die Mannigfaltigkeit der Beschaffenheit so ausgedehnter Grundwasserträger, wie sie im Schwemmlande der unteren Stufe sich finden, ist ausserordentlich gross und entzieht sich meist unsrer Kenntnis.

Dagegen können obige Gleichungen, die sich durch grosse Einfachheit auszeichnen, sehr wohl dazu dienen, um eine allgemeine Vorstellung von dem Verlaufe der Grundwasserbewegung zu erhalten; dass die Geschwindigkeit der Grundwasserströme im allgemeinen eine sehr geringe ist, haben wir oben schon berechnet. Wichtig ist ferner auch, die Einwirkung steigender und fallender Oberflächengewässer auf die Grundwasserbewegung kennen zu lernen, was mit Hilfe der Fig. 29 (S. 165)

näher erläutert werden soll. *A* bezeichnet das Oberflächengewässer, z. B. einen Fluss, *B* den Grundwasserstrom; die Schnittlinie *AB* liegt in der Richtung des Grundwasserstromes. Die ausgezogenen Linien bezeichnen den Mittelwasserstand von *A* und *B*.

Bei einem Steigen des Flusses um 4,0 m tritt derselbe noch nicht über seine Ufer, das Hochwasser kann also nur durch die Ufer in den Boden dringen und dadurch zunächst den Grundwasserstrom aufstauen, dessen Gefälle dadurch allmählich vermindert und endlich Null wird. Gleichzeitig dringt auch Wasser von dem Flusse durch die Ufer ein und trägt ebenfalls zur Erhöhung des Grundwasserstandes bei. Diese Vorgänge vollziehen sich jedoch nur sehr langsam, wegen der geringen Geschwindigkeit, welche das Wasser beim Durchgange durch die Bodenmasse erlangen kann. Selbst unter dem Hochwasserdrucke von 4,0 m über Mittelwasser würde das Wasser bei einer Korngrösse D = 0,002 m nur eine Geschwindigkeit S von etwa 0,000078 m erreichen und demnach 14,8 Tage nötig haben, um bis auf 100 m in dem Gelände vorzudringen; so lange hält gewöhnlich der Hochwasserstand nicht an. Dagegen erfordert der

Fig. 29.

Verlauf des Hochwassers im Flusse bis zum Mittelwasser längere Zeit und zwar um so längere, je durchlässiger der Untergrund des Ufergeländes ist. Nach Erreichung des höchsten Standes von 4,0 m über Mittelwasser, wird die Grundwasseroberfläche in der durch die punktierte Linie *CB* angegebenen Kurve liegen. Ist das Hochwasser wieder im Rückgange und in der Höhe von 2,0 m über Mittelwasser angelangt, so liegt der Grundwasserspiegel in der punktierten Linie *DB*, und ist endlich der Mittelwasserstand wieder erreicht, dann hat der Grundwasserspiegel die Lage *EB*, aus welcher er allmählich in die frühere Lage *AB* zurückkehrt. Der Rückgang des gehobenen Grundwassers auf seinen ursprünglichen Stand erfordert viel längere Zeit als die vorherige Hebung beanspruchte, weil bei letzterer auch das eindringende Hochwasser des Flusses mitwirkt, und zwar mit höherem Drucke, während bei dem Rückgange nur die geringe Abflussgeschwindigkeit wirksam ist. Je durchlässiger der Grundwasserträger ist, desto mehr Hochwasser dringt in das Gelände, desto höher ist die Aufstauung der Grundwassers, und um so länger dauert der Rückgang.

Übersteigt das Hochwasser die Flussufer, so werden die oben besprochenen Vorgänge dadurch wesentlich beeinflusst, dass durch die Überschwemmung des Ufergeländes auf weite Strecken das Hochwasser durch die Bodenoberfläche in den Untergrund bis zum Grundwasser dringt und dadurch die Hebung des Grundwasserstandes beträchtlich gefördert wird. Je nach der Durchlässigkeit des Bodens, sowie auch je nach der Kultur und Gestaltung der Bodenoberfläche ist die zum Grundwasser absinkende Wassermenge sehr verschieden; sie kann, wie bei Lehmboden, fast null, aber auch so beträchtlich sein, dass sich die Höhe des Grundwasserstandes demjenigen des Flusswassers nähert. Erhöht wird diese Grundwasserspeisung besonders auch durch muldenförmige Vertiefungen in der Oberfläche, wo die Hochwasser auch nach dem Rückgange im Flusse noch längere Zeit stehen bleiben.

Folgendes Beispiel gibt ein anschauliches Bild über den langsamen Ablauf der durch Flussanschwellungen angestauten Grundwasser. Der Grundwasserstrom habe ein Gefälle bei Mittelwasser von 1 : 1000 und sei durch Hochwasser und die damit verbundenen

Niederschläge in dem Zuflussgebiete im Durchschnitt um 0,125 m gehoben worden, wobei sich diese Stauung bis 1,0 km landeinwärts in der Richtung des Grundwasserstromes erstrecken soll; das Ufer des Flusses, in welchen der Grundwasserstrom sich ergiesst, erstrecke sich in senkrechter Richtung auf den Grundwasserstrom und komme hier mit einer Länge von 1,0 km in Rechnung, so dass ein Grundwasserträger von 1 Quadratkilometer Oberfläche vorliegt. Der mittlere Grundwasserspiegel *AB* sei parallel der wasserhaltenden Schicht, welche H m unter *AB* liege. Die Hebung um 0,125 m bezieht sich auf den Wasserspiegel *EB*, nachdem das Flusswasser wieder den mittleren Stand erreicht hat. Würde das Flusswasser nun fortgesetzt auf seiner Mittelhöhe bleiben, so würde der gehobene Grundwasserstand sich allmählich senken; wie langsam dies aber geschieht, erhellt aus folgender Rechnung:

Die Wassermenge, welche durch den Querschnitt R des Grundwasserträgers mit dem Wasserspiegel *AB* abfliesst, sei Q, diejenige mit dem Wasserspiegel *EB* sei Q_1, das Korn der Grundwasserträgers sei D = 0,002, also k = 0,002, und die wasserdurchlassenden Hohlräume seien $\frac{F}{4}$; so hat man:

$$Q = \frac{1000}{4} \,.\, H \,.\, 0{,}002 \,.\, 0{,}001 = 0{,}0005 \,.\, H,$$

$$Q_1 = \frac{1000}{4} \,.\, (H + 0{,}125) \,.\, 0{,}002 \,.\, 0{,}001125 =$$

$$0{,}0005625 \,.\, (H + 0{,}125).$$

Q_1 ist demnach grösser als Q, und der Mehrabfluss $Q_1 - Q$ führt die allmähliche Absenkung von *EB* bis *AB* herbei.

$$Q_1 - Q = 0{,}0005625 \,.\, (H + 0{,}125) - 0{,}0005 \,.\, H$$
$$= 0{,}0000625 \,.\, H + 0{,}0000078 \text{ cbm in der Sekunde.}$$

Durch die Hebung des Grundwasserspiegels von *AB* bis *EB* wurde der Wasserinhalt J des Grundwasserträgers um

$$1000 \,.\, 1000 \,.\, 0{,}125 = 125\,000 \text{ cbm vermehrt.}$$

Zum Abfluss dieser Wassermenge bei obigem Sekunden-Abfluss $= Q_1 - Q$ ist demnach die Abflusszeit T in Sekunden

$$T = \frac{125\,000}{0{,}00005625 \,.\, H + 0{,}0000078}.$$

Für eine Grundwassertiefe H von 30,0 m

$$\text{ist } T = \frac{125\,000}{0{,}001695} = 74 \text{ Millionen Sekunden}$$

oder rund 850 Tage.

Bei H = 50,0 m ist

$$T = \frac{125\,000}{0{,}00282} = 44 \text{ Millionen Sekunden}$$

= rund 500 Tage.

Für 100,0 m Tiefe ist

$$T = \frac{125\,000}{0{,}0056} = 22 \text{ Millionen Sekunden oder}$$

250 Tage.

Man sieht, dass selbst bei grossen Tiefen des Grundwasserstromes immer noch eine Zeitdauer sich ergibt, welche mit Rücksicht auf den in viel kürzeren Zeitabschnitten sich wiederholenden Wechsel zwischen Nieder-, Mittel- und Hochwasser unmöglich erreicht werden kann. Eine völlige Ausgleichung der Grundwasserstände entsprechend deren Gefälle und der Durchlässigkeit des Grundwasserträgers findet daher nur in dem Masse statt, als durch grössere und dauernde Niederwasserstände in den Oberflächengewässern das nötige Gefälle und die Zeit dazu gewonnen wird. Bei lange anhaltender Trockenheit tritt nicht nur ein dauernder Niederwasserstand der Gewässer ein, wodurch das Grundwassergefälle erhöht wird, sondern auch die Zuflüsse, welche die Grundwasserströme aus den Seitenthälern und durch Niederschläge erhalten, nehmen in der trockenen Zeit beträchtlich ab, so dass mehrere Umstände zusammenwirken, um ein rascheres Sinken des Grundwassers zu veranlassen. Je gleichmässiger die Verteilung der verschiedenen Wasserstände der Flüsse und Seen innerhalb eines Jahres ist, desto gleichmässiger ist auch der Grundwasserstand.

Die Zunahme der Grundwasserstände durch das Steigen der Oberflächengewässer erfolgt viel rascher, weil die Hochwasser durch ihr oft rasches Steigen einen grösseren Überdruck gegen den Grundwasserstand haben und dann nicht bloss durch Uferwände, sondern auch durch die Sohle ihres Bettes in das Grundwasser dringen;

bei einem Steigen des Flusses z. B. um 4,0 m über Mittelwasser, wird das nun landeinwärts gerichtete Gefälle 1:500 betragen, wenn bei Mittelwasser der Grundwasserspiegel ein Gefälle von 1:1000 hatte. Das Flusswasser dringt also mit doppelt so grossem Gefälle in den Grundwasserträger, als der Rücklauf bei Mittelwasserstand erfolgt, und doppelt so gross ist also auch die in der Zeiteinheit dem Grundwasser auf diesem Wege zugeführte Vermehrung gegenüber dem späteren Abfluss. Hierzu kommen die von dem Überschwemmungsgelände in den Boden bis zum Grundwasser versickernden Wassermengen, welche mit der Durchlässigkeit beträchtlich zunehmen; ferner noch die unterirdischen Niederschläge, sowie die Zuflüsse der kleineren Grundwasserströme aus den Seitenthälern. Diese letztgenannten Zuflüsse sind alle um so bedeutender, je durchlässiger der Untergrund ist. Bei den Zuflüssen aus den Seitenthälern kommt in Betracht, ob die Hochwasser in den Flüssen durch starke Niederschläge oder Schneeschmelze im Oberlaufe derselben, oder durch solche im Mittel- und Unterlaufe, oder gleichzeitig in zweien oder allen dreien veranlasst wurden; insbesondere ob in dem der Fassungsanlage zunächst liegenden Sammelgebiete, vor und mit dem Hochwasser, der Erde viel Feuchtigkeit zugeführt wurde.

Die Wassermenge, welche man dem Schwemmlande der unteren Stufe durch eine Fassungsanlage entziehen kann, ist durch die Ausdehnung der letztgenannten bedingt, indem die in das Grundwasser eingebauten Sammelkanäle und Brunnen je nach der Durchlässigkeit des Bodens nur auf eine gewisse Entfernung Zuflüsse aus dem Grundwasserträger erhalten können.

Die Grenzen, innerhalb welcher die Wasserentnahme durch eine Sammelanlage im Grundwasser möglich ist, lassen sich durch die Grundgleichung (S. 164) $S = E \, . \, G_v$ unter der Voraussetzung eines ganz gleichartigen Grundwasserträgers annähernd feststellen. Nehmen wir z. B. an, ein Sammelkanal sei mit seiner Sohle auf der wagrechten wasserhaltenden Schicht des Grundwasserträgers errichtet und die gegen den Grundwasserstrom gerichtete Kanalseite sei auf die ganze Tiefe des Grundwasserstromes mit offenen Fugen und Schlitzen hergestellt. Durch das Einfliessen

des Grundwassers in den Kanal, sowie durch Ausschöpfen aus demselben ergibt sich ein bestimmter Beharrungszustand, indem bei einer bestimmten Wasserentnahme in der Sekunde = Q die Wasserhöhe h im Kanale eine ständige wird; ist ferner die Höhe des ruhenden und wagrechten Wasserspiegels des Grundwassers = H und die Korngrösse D des Grundwasserträgers = 0,002 m, sowie L_k die Länge des Kanales, so ergibt sich für irgend einen Punkt P des Grundwasserspiegels mit der Ordinate y und der Abscisse x (siehe Fig. 30):

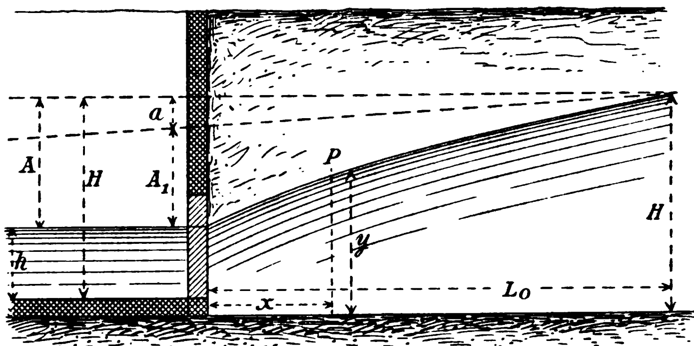


Fig. 30.

$$Q = \frac{L_k \cdot (y + h)}{n \cdot 2} \cdot \frac{(y - h) \cdot E}{x}$$

$$= \frac{L_k \cdot (y^2 - h^2) \cdot E}{2 \cdot n \cdot x}$$

n die Zahl, womit der Querschnitt F dividiert werden muss, um den Durchflussquerschnitt zu erhalten.

$$23)\quad y^2 = \frac{2 \cdot n \cdot x \cdot Q}{E \cdot L_k} + h^2.$$

Dies ist die Gleichung einer Parabel, durch welche die einzelnen Punkte y derselben für die zugehörigen Abscissen x berechnet werden können.

Für y = H erhält man

$$Q = \frac{L_k\,(H^2 - h^2) \cdot E}{2n \cdot L_0};$$

ferner wird in diesem Falle $x = L_0$ die Entfernung des Punktes

in der Grundwasseroberfläche, wo bei einer Wasserentnahme von Q cbm in der Sekunde die Absenkung des Grundwasserspiegels beginnt.

$$L_0 = x = \frac{L_k \,.\, (H^2 - h^2) \,.\, E}{2 \,.\, n \,.\, Q}$$

Ist jedoch die wasserhaltende Schicht und der Grundwasserspiegel nicht wagrecht, sondern haben das Grundwasser und die wasserhaltende Schicht schon vor der Entnahme aus dem Kanale ein Gefällverhältnis $= G_v$, so ist hier auch

$$Q_x = \frac{L_k \,.\, E\,(y^2 - h^2)}{2 \,.\, n \,.\, x} \text{ und}$$

$$23a)\quad y^2 = \frac{2 \,.\, n \,.\, x \,.\, Q}{E \,.\, L_k} + h^2,$$

aber die durch die Wasserentnahme bewirkte Absenkung A ist hier nicht H—h, sondern um die vor der Entnahme schon vorhandene Gefällhöhe a geringer.

$$\frac{a}{L_0} = G_v, \text{ also}$$

$$a = L_0 \,.\, G_v \text{ und}$$

die Absenkung $A_1 = H - (h + L_0 \,.\, G_v)$, während bei ursprünglich wagrechtem Grundwasserspiegel $A = H - h$ ist.

Der abgesenkte Wasserspiegel bildet auch eine Parabelfläche, aber mit kleinerem y.

Liegt der Sammelkanal nicht auf der wasserhaltenden Schicht, sondern über derselben, so dass das Grundwasser unter dem Kanale abfliessen kann, so ist ebenfalls

$$Q_x = \frac{L_k \,.\, E\,(y^2 - h^2)}{2 \,.\, n \,.\, x} \text{ und}$$

$$23b)\quad y^2 = \frac{2 \,.\, n \,.\, x \,.\, Q}{L_k \,.\, E} + h^2.$$

Ist der Kanal nicht bloss stromaufwärts, sondern abwärts durchlässig gebaut, so ist die bei der Absenkung auf h Wasserstand im Kanal geförderte Wassermenge Q zusammengesetzt aus Q_0 und Q_a, nämlich aus der oberhalb des Kanals zufliessenden Wassermenge Q_0 und der abwärts gelegenen Kanalseite eindringenden Q_a.

$$23\text{c})\quad Q_0 = \frac{L_k \,.\, E \,.\, (H^2-h^2)}{2 \,.\, n \,.\, L_0}$$

$$23\text{d})\quad Q_a = \frac{L_k \,.\, E\,[(H-H_1)^2-h^2]}{2 \,.\, n \,.\, L_a}$$

$$H-H_1 = H-G_v\,(L_a + L_0)$$

$$Q = Q_0 + Q_a = \frac{L_k \,.\, E}{2 \,.\, n} \,.\, \left[\frac{H^2-h^2}{L_0} + \frac{H^2-2H.H_1 + H_1{}^2-h^2}{L_a}\right]$$

$$= \frac{L_k \,.\, E}{2 \,.\, n \,.\, L_a \,.\, L_0} \,.\, [2 \,.\, L_a\,(H^2-h^2)-L_0 \,.\, H_1 \,.\, (2 \,.\, H-H_1)]$$

(Siehe Fig. 31 und 32, Taf. II.)

Q_a fällt immer kleiner aus als Q_0 solange H_1 nicht gleich Null wird, d. h. der ursprüngliche Grundwasserspiegel horizontal ist; ebenso wird in diesem Falle L_a immer kleiner als L_0. Das ursprüngliche Gefälle G_v des Grundwassers vor der Wasserentnahme kann man durch Bodenaufschlüsse feststellen und danach H_1 bestimmen. Nach Gleichung 23c und d erhält man dann

$$\frac{Q_0}{Q_a} = \frac{L_a \,.\, (H^2-h^2)}{L_0\,[(H-H_1)^2-h^2]}$$

$$Q_a = Q_0 \,.\, \frac{L_0\,[(H-H_1)^2-h^2]}{L_a\,(H^2-h^2)}$$

$$Q_a = Q-Q_0, \text{ also}$$

$$Q-Q_0 = Q_0\,\frac{L_0\,[(H-H_1)^2-h^2]}{L_a\,(H^2-h^2)}$$

$$Q_0 = \frac{Q \,.\, L_a\,(H^2-h^2)}{L_a\,(H^2-h^2) + L_0\,[(H-H_1)^2-h^2]}$$

$$Q_a = \frac{Q \,.\, L_0\,[(H-H_1)^2-h^2]}{L_a\,(H^2-h^2) + L_0\,[(H-H_1)^2-h^2]}$$

Hat man durch Bodenaufschlüsse die Grösse von H, sowie L_0 und L_a bestimmt, so kann man daraus für eine bestimmte Wasserentnahme Q und die Absenkung bis h Meter Wasserstand im Kanale die einzelnen Zuflussmengen Q_0 und Q_a berechnen; für $H_1 = O$ sind sie gleich gross, und die zu erhaltende Wassermenge ist bei gleicher Absenkung doppelt so gross in einem zweiseitig durchlässigen Kanal als in einem nur auf einer Seite durchlässigen.

Ist auch die Sohle des Kanales durchlässig, so wird damit nur der Einflussquerschnitt in dem Kanalumfange vergrössert; der Abflussquerschnitt des Grundwasserstromes bleibt derselbe, und es fliesst daher unterhalb des Kanales durch diesen Querschnitt bei der Absenkung bis h Meter Wasserstand im Kanal dieselbe Wassermenge ab, als wenn die Sohle undurchlässig wäre. Da die Gesamtabflussmenge für diese Absenkung auch die gleiche bleibt, so ist auch Q unveränderlich, einerlei, ob die Sohle durchlässig oder nicht, solange die Seitenwände des Kanals durchlässig sind. Bei Kanälen mit durchlässigen Seitenwänden ist daher die Breite B des Kanales auf die Wassermenge Q von keinem Einfluss, sondern lediglich die Länge L_k des Kanales und die Durchlässigkeit des Grundwasserträgers, sowie die Höhe h über der Kanalsohle, welche zugleich die Mindesthöhe der Kanalseitenwände ist. Je grösser h, desto kleiner die Absenkungshöhe H—h; je grösser die Durchlässigkeit, desto grösser wird E und desto kleiner n und L_0, sowie L_a.

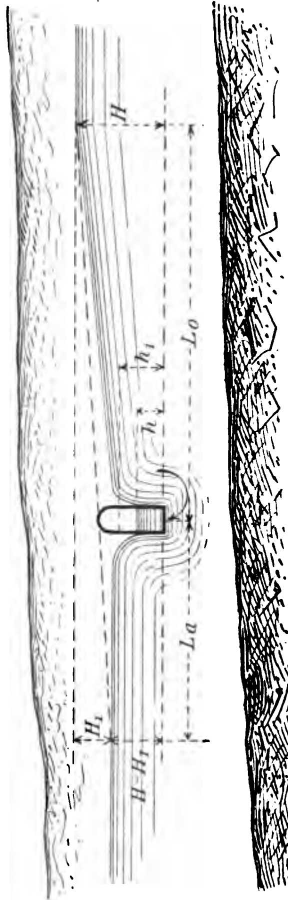


Fig. 33.

Die Grenzlinie der Absenkung, welche sich durch die Wasserentnahme von Q ergibt, ist im Grundrisse durch Fig. 32 dargestellt; Fig. 31 zeigt den Schnitt durch den Grundwasserstrom in dessen Richtung. Der Kanal ist danach in eine Mulde des Grundwasserstromes eingebettet, und theoretisch strömen die Grund-

wasser von der Grenzlinie strahlenförmig nach dem Kanale. In den beiden den Kopfenden des Kanales vorgelagerten Teilen dieser Wassermulde ist die Bewegung der Wasserstrahlen keine ungestörte, indem sie unter verschiedenen Winkeln gegeneinander stossen, wodurch hier eine sehr verwickelte Strömung entsteht, die zum grössten Teile keine Richtung nach dem Kanale hat, so dass hauptsächlich die senkrecht auf die Längsseiten des Kanales gerichteten Strahlen den Wasserzufluss in den Kanal bewirken.

Sind dagegen die Seitenwände des Kanales undurchlässig, die Sohle aber durchlässig,

$$\text{so ist } Q = \frac{(H + h_1) \cdot L_k}{2 \cdot n} \cdot \frac{(H - h_1) E}{L_0} = \frac{L_k \cdot E \cdot (H^2 - h_1^2)}{2 \cdot n \cdot L_0}.$$

Die von unten durch die Sohle $F = B \cdot L_k$ einströmende Wassermenge ist aber

$$\text{auch } Q = \frac{B \cdot L_k}{n \cdot m} + \sqrt{2g(h_1 - h)}, \text{ daher}$$

$$\frac{L_k \cdot E \cdot (H^2 - h_1^2)}{2 \cdot n \cdot L_0} = \frac{B \cdot L_k}{n \cdot m} \cdot \sqrt{2g \cdot (h_1 - h)} \text{ oder}$$

$$\frac{E \cdot (H^2 - h_1^2)}{2 L_0} = \frac{B}{m} \cdot \sqrt{2g \cdot (h_1 - h)} \text{ und}$$

$$L_0 = \frac{E \cdot (H^2 - h_1^2) \cdot m}{2 B \cdot \sqrt{2g (h_1 - h)}}$$

m ist eine der Geschwindigkeit infolge der Reibungswiderstände entsprechende Erfahrungszahl.

Es ist dabei angenommen, dass nur das aus dem Grundwasserstrome oberhalb des Kanales kommende Wasser durch die Kanalsohle einfliessen kann; das von unterhalb des Kanales, also aus entgegengesetzter Richtung kommende Wasser wird durch das obere Wasser verdrängt, welches der Richtung des Grundwasserstromes folgt.

Die Höhe h_1 des Wasserstandes vor dem Kanale ist

$$h_1 = h + \frac{n^2 \cdot Q^2 \cdot m^2}{2g \cdot B^2 \cdot L_k^2}.$$

Je grösser die Kanalbreite, desto kleiner fällt h_1 aus und desto grösser L_0.

Bei Kanälen fällt jedoch wegen deren Länge L_k der Wert von $h_1 - h$ so klein aus, dass man ihn vernachlässigen kann, so dass nur die Gleichung $Q = \frac{E \cdot L_k (H^2 - h^2)}{2 \cdot n \cdot L_0}$ in Anwendung kommen kann.

Die Wassermenge Q, welche aus einem Sammelkanale unter sonst gleichen Verhältnissen entnommen werden kann, ist daher bei langen Kanälen mit durchlässiger Sohle gleich der Wassermenge die man erhält, wenn die Sohle undurchlässig, dagegen die obere Seitenwand durchlässig ist.

Vorausgesetzt ist bei allen obigen Rechnungen, dass zwischen Wasserentnahme aus dem Kanale und dem Zufluss in denselben ein Gleichgewichtszustand eingetreten ist; wird mehr Wasser ausgepumpt als zufliesst, so senkt sich der Wasserspiegel so weit, bis die Grenze der Leistung erreicht ist, d. h. der Grundwasserstrom würde bei Entnahme über diese Grenze hinaus allmählich erschöpft werden und schliesslich nur zeitweise Wasser liefern.

Die Überschreitung der Leistungsfähigkeit eines Grundwasserstromes ist dadurch erkenntlich, dass die Absenkung des ursprünglichen Grundwasserspiegels sich nicht nur auf die durch die Wasserentnahme und Bodendurchlässigkeit bestimmte Grenze im Umkreise der Sammelanlage, sondern weit über dieselbe hinaus ausbreitet, woraus auf eine Abnahme des Gesamt-Grundwasserstandes geschlossen werden muss. Zu berücksichtigen ist dabei, wie weit die Witterungsverhältnisse, sowie sonstige Vorkommnisse auf die Abnahme des Grundwasserstandes Einfluss haben konnten. Häufige Beobachtungen der Grundwasserstände im Gebiete der Sammelanlage müssen einer verständigen Wasserwirtschaft als Grundlage dienen.

Dient zur Wassersammlung ein Brunnen von dem äusseren Umfange $2\pi r$, so ist die Wassermenge Q bei einer Absenkung auf den Wasserstand über Brunnensohle $= h$, mit durchlässigem Mantel, aber undurchlässiger Sohle.

$$24) \quad Q = \frac{\pi \cdot E}{n} \cdot \frac{H^2 - h^2}{2{,}30 \cdot \log \cdot \frac{R}{r}}.$$

H bezeichnet die mittlere Höhe des ursprünglichen Grundwasserstandes zwischen den beiden Grenzpunkten A und B der Versenkung in der Richtung des Grundwasserstromes;

R = $^1/_2$ *AB* = Halbmesser der mittleren Absenkungsfläche.

r = Halbmesser des äusseren Brunnenmantels.

h = Höhe des Wasserstandes über Brunnensohle.

Siehe Fig. 34, Tafel III.

Je nachdem das ursprüngliche Gefälle $G_v = \frac{H_1}{2R}$ mehr oder weniger der Wagrechten sich nähert, desto mehr nähert sich auch die Begrenzungskurve der Absenkungsfläche der Kreisform.

Die Wassermenge wird um so grösser, je kleiner, d. h. je mehr der Wasserspiegel im Brunnen abgesenkt wird; die Grösse von r ist wohl auf die Wassermenge von geringem, aber auf die Erstreckung R der Grundwasserabsenkung von grossem Einfluss.

Folgendes Zahlenbeispiel macht dies ersichtlich; nämlich für

$$E = 0{,}001;\ H = 50{,}0 \text{ m};\ h = 48{,}0 \text{ m}$$
$$n = 4{,}0,\ R = 200 \text{ m und } r = 1{,}0 \text{ m}$$

ist:

$$Q = \frac{3{,}14159 \,.\, 0{,}001 \,.\, (2500 - 2300)}{4 \,.\, 2{,}30 \,.\, \log . \frac{200}{1{,}0}}$$

$$= \frac{0{,}63}{21{,}19} = 0{,}03 = \text{cbm in der Sekunde.}$$

Für r = 2,0 m wird

$$Q = 0{,}63 = 0{,}0342 \text{ cbm.}$$

Obgleich hier r doppelt so gross ist als im ersten Falle, so ist die Wassermenge doch nur um $^1/_7$ gestiegen.

$$\log R = \log r + \frac{\pi \,.\, E \,.\, (H^2 - h^2)}{2{,}30 \,.\, n \,.\, Q}$$ und für obige Zahlenbeispiele

wenn r = 1,0 m und Q = 0,03

$$\log R = \frac{0{,}63}{9{,}2 \,.\, 0{,}03} \text{ und } R = 200 \text{ m (rund),}$$

wenn r = 2,0 m, sonst wie vor:

$$\log R = 0{,}30 + 2{,}30 = 2{,}60 \text{ und } R = 400 \text{ m}$$

für n = 0,50 m ist R = 100 m
„ n = 0,25 „ „ R = 50 m,

der Halbmesser der Absenkungsfläche nimmt also bei gleicher Wasserentnahme und gleicher Absenkungstiefe (H—h) mit dem Durchmesser des Brunnens in gleichem Verhältnis zu und ab.

Die Leistung eines Sammelkanales gegenüber einem Brunnen erhellt aus folgender Rechnung, worin E = 0,001, n = 4,0, H = 5,0, h = 3,0, R = 200 m, L_0 = 200 m, r = 1,0 m eingeführt ist:

Für den Sammelbrunnen

$$25)\quad Q = \frac{3{,}14159 \;.\; 0{,}001 \;.\; (25-9)}{4 \;.\; 2{,}30 \;.\; \log \dfrac{200}{1{,}0}}$$

$$= \frac{0{,}040265}{21{,}19} = 0{,}0019 \text{ cbm in der Sekunde.}$$

Um diese Wassermenge durch einen Sammelkanal unter sonst gleichen Umständen zu erhalten, müsste derselbe eine Länge erhalten von

$$26)\quad L_k = \frac{2 \;.\; 4{,}0 \;.\; 200 \;.\; 0{,}0019}{0{,}001 \;.\; 16{,}0}$$

$$= \frac{3{,}04}{0{,}016} = 190 \text{ m,}$$

wenn nur die obere Längsseite durchlässig ist, und von L_k = 95 m, wenn beide Seiten durchlässig sind; dabei müsste der Kanal 3,0 m hoch sein, um den Grundwasserstrom oberhalb der Kanalsohle voll aufnehmen zu können.

Die Absenkungsfläche des Brunnens hätte eine Ausdehnung von $\pi \;.\; R^2$ = 125 000 qm, diejenige des Sammelkanals von

$$(200 + 200) \;.\; 95 = 38\,000 \text{ qm.}$$

Der Sammelkanal hat demnach auf die Flächeneinheit der Absenkungsfläche die dreifache Nutzleistung gegenüber derjenigen eines Brunnens.

Sammelkanäle empfehlen sich mit Rücksicht auf die Baukosten nur für die Fassung der Grundwasser von geringer Tiefe unter der Oberfläche, 2,0—5,0 Sohlentiefe, Brunnen dagegen zur Sammlung der tiefer gelegenen Wasser.

Ist der Brunnen am Umfange wasserdicht, dagegen seine Sohle durchlässig, so fällt auch hier der Höhenunterschied $h_1 - h$ zwischen Wasserstand vor und in dem Brunnen bei der Wasserentnahme Q nur sehr klein aus, wie bei dem Sammelkanale Fig. 21 (auf S. 126), so dass auch hier h_1 vernachlässigt und dafür h gesetzt werden kann; demnach wird auch hier

$$Q = \frac{\pi \, . \, E}{2{,}30 \, . \, n \, . \, \log . \frac{R}{r}} \, . \, (H^2 - h^2).$$

Bei Brunnenanlagen, besonders bei solchen, wo nur die Brunnensohle durchlässig ist, dem Wassereintritt also nur ein geringer Querschnitt sich bietet, ist darauf zu achten, dass die Wassergeschwindigkeit vor dem Brunnen nicht eine Grösse erreicht, bei welcher die feineren Sande mit hineingezogen werden, dadurch nicht nur eine Versandung des Brunnens herbeiführen, sondern sogar dessen Bestand durch Bildung von Hohlräumen im Untergrunde gefährden. Brunnen mit durchlässiger Sohle erhalten daher zum Einfluss grösserer Wassermengen innerhalb zulässiger Geschwindigkeit einen möglicht grossen Durchmesser.

Die Geschwindigkeitsgrenze kann nur durch Versuche annähernd bestimmt werden, daher auch die mögliche Wasserentnahme nur auf diesem Wege festgestellt werden kann. Auch bei allen anderen Sammelanlagen kann die wirklich zu erhaltende Wassermenge Q nur durch sorgfältige und auf längere Zeit sich erstreckende Pumpversuche bestimmt werden; die weiter oben dafür aufgestellten Gleichungen können wegen des ausserordentlichen Wechsels der Bodenverhältnisse, die sich unserer Kenntnis entziehen, unmöglich richtige Ergebnisse liefern. Der Wert dieser Gleichungen besteht darin, dass man daraus die Beziehungen der in Betracht kommenden Faktoren erkennen und allgemeine Schlüsse danach machen kann. —

Die Fassung der Grundwasser kann durch Kanäle und Röhren, wie in der oberen Stufe des Schwemmlandes (siehe S. 112 und 138) oder durch Brunnen bewirkt werden.

Sammelkanäle.

Diese werden mit Rücksicht auf die Baukosten nur für Grundwasser in geringer Tiefe unter der Oberfläche angewendet, und für Anstellung der Versuche behufs Feststellung aller Grundwasserverhältnisse wird an der geeigneten Stelle das Grundwasser durch einen offenen Graben aufgeschlossen. Durch dauerndes Pumpen unter Beobachtung der verschiedenen Absenkungen des Wasserspiegels und der dabei sich ergebenden Wassermengen kann man annähernd die Länge des Sammelkanales für eine bestimmte Wassermenge berechnen. Dabei ist jedoch vor allem auch zu beobachten, welchen Einfluss der Wechsel der Witterung und die damit verbundenen Niederschläge und Anschwellungen der Oberflächengewässer auf den Grundwasserstrom ausübten; ferner ist auch ein etwaiger Temperaturwechsel des Grundwassers zu beachten und Gewissheit darüber zu verschaffen, ob dieser etwa vom Eindringen von Flusswasser herrührt. Ferner ist zu beobachten, ob das Grundwasser dem Graben nur an einzelnen Stellen, oder auf der ganzen Seitenfläche zufliesst, welchen Einblick man sich durch ein zeitweise starkes Absenken des Wasserspiegels im Graben verschaffen kann; man erkennt daraus, ob das Grundwasser einen einheitlichen Strom bildet, oder in mehr oder weniger einzelne Wasseradern zerteilt ist. Je nach Lage dieser Verhältnisse kann man den Sammelkanal in verschiedener Weise einheitlich oder streckenweise konstruieren.

Im schwer durchlässigem Boden kann man den Zufluss des Grundwassers zur Sammelanlage durch Einlegen von gelochten Sammelröhren, senkrecht zur Richtung des Grundwasserstomes, fördern; die Mündung dieser Saug- oder Sickerröhren in der Sammelanlage sind mit Verschlüssen zu versehen (Klappen oder Schützen), um den Einfluss daraus derart zu regeln, dass zur Zeit hohen Grundwasserstandes der Abfluss aus den Sickerröhren gehemmt, das Grundwasser für trockene Zeit zurückgehalten wird und jedenfalls eine völlige Entleerung des Grundwasserträgers verhütet werden kann.

Über die Anlage von Sammelkanälen und Sickerungen ist schon bei den Sammelanlagen im Gruse und in der oberen Stufe des Schwemmlandes eingehend gesprochen worden.

Bezüglich der Querschnittsmasse von Kanälen wurde oben schon erwähnt, dass bei durchlässigen Seitenwänden es unerheblich für die Wasserlieferung eines Kanales ist, ob dessen durchlässige Sohle oder undurchlässige mehr oder weniger breit ist; die Kanalbreite ist nur durch die Grösse des für den Wasserabfluss aus dem Kanale erforderlichen Querschnittes bedingt. Die Höhe der Seitenwände müsste mindestens so gross sein, dass der durch die Wasserentnahme abgesenkte Wasserspiegel noch unter dem Scheitel des Kanales liegt. Kann man jedoch den Kanal durch Tagbau, also im offenen Graben ausführen, so kann man durch eine undurchlässige Hinterfüllung und Überdeckung des fertigen Kanales ein Abströmen des Grundwassers über den Scheitel eines Kanales verhindern und diesem dann nur die für den Durchflussquerschnitt, für die Schlüpfbarkeit oder Begehung erforderliche Höhe geben. Es ist dies ein Vorzug der durch Tagbau hergestellten Kanäle gegenüber den durch Stollenbau ins Gebirge getriebenen, welche den Grundwasserstrom nur unvollständig zu fassen vermögen, indem derselbe je nach der Durchlässigkeit des Gesteines mehr oder weniger über den Stollenbau hinaus abfleisst.

Bei der unter Leitung des Ingenieurs O. Lueger ausgeführten Wasserversorgung für Freiburg i. B. (siehe dessen Werk über Wasserversorgung S. 534—536) sind ausgedehnte Sammelanlagen mittels schlüpfbarer Kanäle erbaut worden. Die Wassergewinnung erfolgt ca. 5 km oberhalb Freiburgs im Diluvium des Dreisamthales. Das Thal enthält ausgedehnte Ablagerungen von Kiesen und Geröllen, die ihrer Konstitution nach teils lose, teils mit Zwischenlagerungen von Thonschichten versehen, teils zu festen Konglomeraten zusammengebacken sind. In die letzteren ist das Dreisambett eingewaschen, wobei zu beachten ist, dass die Konglomerate in weiter Ausdehnung im Thalgrunde verbreitet und vielfach zerrissen sind. Über diesen Konglomeraten baut sich sodann rechts und links der Dreisam terrassenförmig mit deutlich ersichtlichen früheren Hochgestaden der wasserführende Sand und

Schotter auf. Allerwärts ist wahrzunehmen, dass bei bestimmter Absenkung des Grundwasserstandes auch aus den Rissen und Sprüngen der Konglomerate von unten her Wasser aufsteigen.

Dementsprechend ist ein Sammelbrunnen angelegt, von welchem aus sich die Sammelkanäle erstrecken. Die Kanäle reichen mit ihrer Sohle bis auf das feste Konglomerat und liegen daselbst 5—8, im Mittel etwa 6,6 m unter Bodenoberfläche auf. Der Sammelbrunnen reicht noch 3,0 m tiefer in das Konglomerat hinein; die Kanäle sind im Tagbau hergestellt. Sie sind bis 0,3 m über ihren Scheitel mit gewaschenem Flusskiese D. 35 mm bedeckt; darüber 1,0 m feinerer Kies in allmählich abnehmender Stärke und schliesslich eine Schicht reinen Sandes bis 0,5 m unter Oberfläche eingefüllt.

Die schlüpfbaren Kanäle sind nicht bloss an den Seitenwandungen, sondern auch an der Sohle durchbrochen. Die Kanäle haben eine Gesamtlänge von 180 m und liefern durchschnittlich 200 Sekundenliter.

Das durch Baudirektor Gerwig ausgeführte Wasserwerk der Stadt Karlsruhe (siehe Lueger S. 536) besitzt ebenfalls Sammelkanäle zur Wassergewinnung. Das Karlsruhe benachbarte Gebirge (Muschelkalk und Buntsandstein) ist sehr durchlässig, und seine Schichten fallen in der Richtung nach dem Rheinthale. Am Fusse des Gebirges lagern mächtige Schotteranschwemmungen, welche das im Gebirge versunkene Wasser aufnehmen und gegen den Rhein bei einem mittleren Spiegelgefälle von 1:800 abführen. In diesem Schwemmlande liegt ein Flussbett, welches auf grosse Breite mit thonigen Ablagerungen erfüllt ist und einen natürlichen Aufstau für das vom Gebirge herkommende Wasser bildet, wodurch das ganze zwischen dem Gebirge und diesem alten Flussbette gelegene Schotterbecken zu einem natürlichen Grundwasserreservoir von sehr grossem Wasserinhalte ausgestaltet wurde.

Ein gemauerter Sammelkanal von rechteckigem Querschnitte mit 0,90 m Breite und 1,58 m Höhe ist in dieses Grundwasserreservoir eingelegt; das Mauerwerk hat offene Fugen. Bei 194 m Länge und 1,5 m Spiegelsenkung erreichte man in trockener Zeit eine Wassermenge von 70 Sekundenliter. Der Kanal liegt mit

seiner Sohle 4,15 m unter der Oberfläche und 1,63 m unter dem niedrigsten Grundwasserstande, aber nicht auf der undurchlässigen Schicht, die sich in grosser Tiefe befindet.

Bezüglich der Bauweise von Kanälen sind folgende allgemeine Angaben zu beachten:

Die Tragfähigkeit des Bodens, in welchen Kanäle eingebaut werden, soll höchstens beansprucht werden

für lockeren Mutterboden	0,4 kg
„ lehmigen Boden	0,8 „
„ Sand, Schotter und steinigen Lehm .	1—2 „
„ Fels bis	10 „

auf 1 qcm. Bei grösserer Belastung des Bodens ist dieser zu befestigen.

Bei Stollenbauten ist je nach dem mehr oder weniger lockeren Gefüge der Gesteinsschichten, der sogenannten Druckhaftigkeit, eine nur teilweise oder gänzliche Ausmauerung erforderlich.

Mit Einschalung und Abspriessung gesicherte Kanal-Baugruben dürfen erst ausgeschalt und entsteift werden, wenn die Kanäle eingewöllbt sind und das Mauerwerk gut abgebunden hat, damit dieses bei der Ausschalung dem Erddruck widerstehen kann; aus demselben Grunde soll das Gewölbe vor der Entsteifung der Grube etwas belastet werden.

Je nach dem Baumateriale und der Grösse der Kanäle ist deren Querschnittsform eine sehr verschiedene. Für Bruchsteinkanäle wählt man die rechteckige Form mit ebener Sohle und zwar für kleinere Lichtweiten mittels Deckplatte, für grössere mittels Ziegelgewölbe abgeschlossen. In gleicher Weise werden Kanäle aus Quadermauerwerk gebildet. Günstiger mit Rücksicht auf die Widerstandsfähigkeit gegen den Bodendruck und auf möglichst geringen Aufwand an Baumaterial sind die kreisförmigen, die elliptischen und eiförmigen Querschnitte. Für die Nebensammelleitungen kommen im allgemeinen nur Rohrleitungen in Verwendung, aus Thon oder Zementröhren zusammengesetzt. Für die grösseren Sammelkanäle, die schlüpfbar oder begehbar sein sollen, eignet sich besonders die mit der Spitze nach oben

gerichtete Eiform, die sowohl aus Backsteinen als auch Beton gut hergestellt werden kann. Für begehbare Kanäle ist mindestens eine Höhe von 1,60 m und eine Breite im Lichten von 0,70 m anzuwenden. Bei grösseren Sammelkanälen ist es zweckmässig, auf der Kanalsohle an einer Seite eine Gehstufe (Bankett) anzubrigen.

Das Mauerwerk aus Backsteinen wird in Ringen von $^1/_2$ Stein Stärke ausgeführt, und da, wo dasselbe nicht durchlässig sein soll, mit hydraulischem Mörtel gemauert, innen verfugt und aussen rauh verputzt. Backsteingewölbe macht man bis zu 0,80 m Spannweite einringig, dann zweiringig u. s. w. Die Wangen werden mindestens immer zweiringig hergestellt. Die Sohle der Backsteinkanäle kann eben oder auch etwas hohl gebildet sein, und wird entweder nur aus Backsteinen in zwei Ringen, oder aus einer untergelegten Betonplatte und einem Ring Backsteine, oder auch nur durch eine Betonplatte hergestellt.

Betonkanäle erhalten eine Scheitelstärke von 10—15 cm; von hier nimmt nach beiden Seiten abwärts die Wandstärke allmählich zu, so dass die Wangen an der Sohle 0,20—0,35 m stark werden. Bei der Berechnung der Wandstärke von Betonkanälen ist höchstens eine Zugbeanspruchung von 2,0—2,5 kg auf 1 cqm anzunehmen. Manchmal werden die Betonkanäle stückweise ausserhalb der Baugrube angefertigt, indem hier diese Arbeit rascher fortschreitet als in der Baugrube; mit dieser stückweisen Herstellung ist nur der Nachteil verbunden, dass man auf der Kanalstrecke eine grosse Anzahl Stossfugen erhält, die zu Undichtigkeiten häufige Veranlassung geben. Wo solche Stossfugen nicht nachteilig werden können, kann durch die Herstellung asserhalb der Baugrube die ganze Kanalausführung wesentlich gefördert werden. Kann man sogar die handelsüblichen Querschnittsformen von Betonkanälen verwenden, dann kann man die einelnen Stücke fertig beziehen, so dass nur noch deren Verlegen zu bewirken ist.

Betonkanäle haben gegenüber Backsteinkanälen einen wesentlichen Vorzug dadurch, dass man ihre Wandstärke genau den gegebenen Verhältnissen anpassen kann, während man die Mauerstärke der Backsteinkanäle immer nur um je $^1/_2$ Stein Stärke abstufen kann.

Bei Kreuzungspunkten von grösseren Kanälen sollte immer ein besteigbarer Sichtschacht eingefügt werden.

Für Sammelröhren verwendet man gewöhnlich zu kleinen Wassermengen die üblichen Drainageröhren aus unglasiertem Thon von 50—100 mm D.; für grössere Wassermengen gewöhnlich gelochte Zementröhren oder auch solche glasierte Thonröhren je nach den örtlichen Preisverhältnissen. (Siehe die Querschnittsformen Fig. 35—42 auf Tafel IV.)

Zum Schlusse sei noch die Wasserentnahme aus einem Oberflächengewässer (Fluss oder See) mittels eines in der Nähe des Flussufers in den Untergrund gebauten Sammelkanales oder Sammelbrunnens erwähnt; es ist dies auch eine Entnahme aus dem Schwemmlande, und hier gilt ebenso alles, was oben über die Kanäle und Brunnen auseinandergesetzt ist. Wegen der grossen Nähe des Flusses oder Sees findet jedoch dabei, der Absenkung unter den Fluss- oder Seespiegel entsprechend, eine Einströmung von Flusswasser in die Sammelanlage statt, gleichzeitig mit dem Einströmen von im Untergrunde vorhandenen Grundwassern. Man bezeichnet diese Art Wasserentnahme, wobei das Fluss- oder Seewasser bei seinem Durchgange durch den Untergrund gereinigt wird, als Flusswasserentnahme mit natürlicher Filtration.

Der gefährlichste Feind dieser Art Anlagen ist gewöhnlich die Versandung und Verschlemmung des Untergrundes, so dass dieser immer undurchlässiger wird und zwar um so rascher, je gröber das Bodenmaterial und die Durchflussgeschwindigkeit wird. Der Untergrund soll aus feinkörnigem Sande bestehen, so dass ohne grosse Absenkung des Wasserspiegels in der Sammelanlage die Sickstoffe im Wasser schon auf der Uferfläche zurückgehalten werden und nicht im Innern des Untergrundes. Aus diesem Grunde ist für die Wasserentnahme eine Uferstelle auszuwählen, wo das Wasser die Ufer mit möglichst grosser Geschwindigkeit berührt, und deshalb ist auch ein ruhiger See weniger dafür geeignet. Am geeignetsten sind die der Stromrichtung entgegengesetzten Uferschenkel der in den Flusskrümmungen vorspringenden Winkel, wo durch die Flussströmung eine beständige Abspülung der Ufer stattfindet.

Die Anlage solcher Sammelanlagen ist meist mit grossen Kosten verbunden, weil sie in das Grundwasser versenkt werden müssen und grosser Wasserandrang zu bewältigen ist. Auch wird die Temperatur des erhaltenen Wassers um so schwankender mit dem Wechsel der Jahreszeit, je mehr man auf den Zufluss aus dem Oberflächenstrome angewiesen ist. Dazu kommt die Unsicherheit der Anlage wegen der mit der Zeit eintretenden Verschlemmung des Untergrundes, weshalb man in der Neuzeit von dieser Art Wasserentnahme abgekommen ist und die Wasserentnahme nur auf die grossen Grundwasserströme beschränkt, jedenfalls diese nicht von den Zuflüssen aus benachbarten Flüssen und Seen abhängig macht.

Es wurden früher solche Anlagen für Flusswasser mit Filtergalerien für verschiedene Städte, Magdeburg, Lyon, Glasgow, Wien mit grossen Kosten angelegt; sie sind aber alle entweder wieder ganz aufgegeben, oder ihre Wasser sind einer untergeordneten Verwendung zugewiesen worden.

Brunnenanlagen.

Brunnen haben den Vorzug, dass man mit ihnen ohne erhebliche Kosten bis in grosse Tiefe vordringen und dadurch die unteren Wasserstockwerke erschliessen kann. Je nach dem Wasserbedürfnis genügt ein oder mehrere Brunnen. In stark durchlässigem Schotter- oder Kiesboden kann man, um die unteren, reineren und kühleren Wasserschichten aufzufangen, einen Schachtbrunnen von grösserem Durchmesser und durchlässiger Sohle bei undurchlässigem Umfange versenken und damit oft grosse Wassermenge erhalten. Im Sande, sowie für sehr grosse Tiefen, empfehlen sich jedoch hauptsächlich Rohrbrunnen, deren Umfang auf eine bestimmte Höhe durchlässig und hier mit einem Seiher ummantelt ist. Die Rohrbrunnen werden in verschiedener Weise zu einer Sammelanlage aneinandergereiht oder -gruppiert.

Gemauerte oder Schachtbrunnen.

Bei Brunnen mit durchlässiger Umfangsmauer hat der Durchmesser nur geringen Einfluss auf die Wasserlieferung,

dagegen sind dafür hauptsächlich massgebend die Durchlässigkeit des Grundwasserträgers und die Höhe des Grundwasserstandes über der Brunnensohle. Gemauerte Brunnen mit durchlässigem Umfang in der Höhe des Grundwasserstandes wendet man deshalb nur in sehr durchlässigem, grobkiesigem Boden an, weil man in schwerdurchlässigem Boden mit Rohrbrunnen viel billiger dieselbe Wassermenge erhalten kann. Auch gibt man im allgemeinen dieser Art Schachtbrunnen keinen grösseren Durchmesser, als für etwaige Unterbringung von Saugröhren und Pumpen und für bequeme Besteigung erforderlich ist; nur dann, wenn der Brunnenschacht mit wasserdichter Sohle zugleich als Vorratsbehälter dienen soll, erhält er entsprechend grösseren Durchmesser.

Bei Brunnen mit durchlässiger Sohle und undurchlässigem Umfange gibt man dem Brunnenschachte einen grösseren Durchmesser, weil damit die Eintrittsgeschwindigkeit einer bestimmten Wassermenge wesentlich vermindert wird, so dass damit die Leistungsfähigkeit innerhalb der zulässigen Geschwindigkeit in demselben Masse zunimmt. Zum Schutze gegen Versandungen erhält die Sohle eine Filterschicht aus Kies verschiedener Korngrösse.

Die kleinen Brunnen erhalten einen Durchmesser im Lichten von etwa 2,0 m der sich für grössere Leistungen auf 4,9 und 5,0 m, zuweilen bis 10,0 m und darüber ausdehnen kann. Das Brunnenmauerwerk ist, soweit dasselbe durchlässig ist, Trockenmauerwerk aus verschiedenen Materialien, Bruchsteinen, Quadern und Ziegeln. Das undurchlässige Mauerwerk wird mittels hydraulischen Kalk- und Zementmörtels hergestellt.

Die Baugrube für den Brunnen wird bis auf das Grundwasser ausgehoben und der Brunnen über einem hölzernen Brunnenkranze aufgemauert bis zu gewisser Höhe über der Bodenoberfläche; sodann wird dessen Absenkung durch Untergrabung oder Unterbaggerung des Brunnenkranzes bewirkt. Das Untergraben kann nur in geringen Wassertiefen, welche durch Auspumpen der Baugrube zu halten sind, bewirkt werden, und diese Art wird am besten so lange fortgesetzt, als die Wasserbewältigung noch mit mässigen Kosten durchzuführen ist und ferner der Wasserdruck

auf die Aussenseite des versenkten Brunnenmauerwerkes nicht zu gross wird, um den Verband des letztgenannten zu gefährden. Sobald diese Grenze erreicht ist, muss die Untergrabung des Mauerkranzes behufs Senkung, durch Baggerung unter Wasser, geschehen, sowie auch bei grösserer Tiefe der Senkung das Mauerwerk noch künstlich belastet werden muss. Mit einer Baggerschaufel kann man bei 5—10 m Wassertiefe täglich etwa 3—4 cbm Kiesboden fördern, wovon jedoch, wegen des fortwährenden Nachfallens nur 2—,25 cbm für die Senktiefe in Betracht kommen.

Statt das Wasser aus dem Brunnenschachte zu pumpen, kann man dasselbe auch durch Pressluft daraus verdrängen, so dass die Arbeit der Unterhöhlung des Kranzes zwar nicht unter Wasser, aber unter erhöhtem Luftdruck vorgenommen werden muss. Der Mensch kann erfahrungsmässig einen Luftüberdruck von 2 bis 3 Atmosphären ertragen, so dass also die Möglichkeit vorhanden ist, bis zu einem Überdrucke von 20—30 m Wassersäule mit Pressluft zu arbeiten. Der eigentliche Arbeitsraum ist ein eiserner Behälter (Caisson) von der Weite des Brunnens, der sich trichterförmig nach oben verjüngt bis zur Weite des anschliessenden und zur Luftpumpe aufsteigenden Druckrohres; dieses Druckrohr dient zugleich zur Beförderung der Arbeiter und des Bodenaushubes. Mit diesem Verfahren vermeidet man den einseitigen Wasserdruck auf das Brunnenmauerwerk und ist besonders in der Lage, schwierige Stellen im Untergrunde, wie eingelagerte grössere Steine oder festgeschlossene Schichten wirksam bearbeiten zu können.

Wenn der Untergrund aus feinem Sande besteht, verwendet man zur Aufwühlung und Förderung des Sandes im Brunnenschachte in neuerer Zeit auch die Sandelevatoren. Der Apparat wird unter Wasser auf den Grund des Schachtes versenkt und steht nach oben durch ein Betriebsrohr, welches die Betriebsflüssigkeit, welche Druckwasser oder Dampf sein kann, dem Apparate zuführt; ferner geht von dem Apparate noch ein weites Steigrohr zur Förderung des Schlammes in die Höhe bis über Bodenoberfläche. Diese beiden Röhren haben unterhalb des Brunnenrandes ein bewegliches Zwischenstück, aus einem Spiralschlauche bestehend, wodurch man dem Apparate jede gewünschte Lage auf dem Grunde

geben kann. Die Betriebsflüssigkeit tritt teilweise aus dem Apparat und wirbelt den benachbarten Sand kräftig auf, und zugleich saugt der Apparat diese Mischung des Sandes mit Wasser auf und fördert sie in die Höhe. Diese Apparate sind für leicht löslichen Boden ihrer Einfachheit wegen sehr empfehlenswert.

Für Brunnenausschachtungen im losen feinen Sand oder Triebsand wird das Pötzsche Gefrierverfahren empfohlen. Ein System senkrechter Röhren von D. 175 mm wird auf den Grund des Schachtes niedergetrieben und mit einer Lauge aus Chlormagnesium oder Chlorkalium gefüllt, die man sehr stark abkühlen kann, da der Gefrierpunkt einer solchen Lauge bei —40° C. liegt. Der Boden wird durch die Röhren bis zum Gefrieren abgekühlt und dadurch zu einem derartig festen Körper, dass man darin ohne Gefahr des Einsturzes den Brunnen ausschachten und mit verspriesster Verschalung ausrüsten kann. Da dies Verfahren sehr teuer ist und Schachtbrunnen im Triebsande für Wasserversorgungen nicht gebaut werden, so kommt das Gefrierverfahren hier auch nicht zur Anwendung.

Das Backsteinmauerwerk enthält folgende Stärken bei Brunnen:

für	1,50	m Lichtweite	. .	1 Stein stark
„	2,0 u. 2,50	„ „	. .	1½ „ „
„	3,0 „ 3,50	„ „	. .	2 „ „
„	4,0 „ 5,0	„ „	. .	2½ „ „
„	6,0 „ 7,0	„ „	. .	3 „ „

Ausser dem Haupt-Brunnenkranze am Fusse der Brunnenmauer werden auch noch in Abständen von etwa 2,0 m schmiedeeiserne Ringe ins Mauerwerk verlegt und diese durch senkrechte Bolzen unter einander verbunden, um ein stellenweises Reissen der Mauer beim Absenken zu verhindern; die Absenkung wird dadurch erleichtert, dass man der Mauer eine schwache Verjüngung von unten nach oben gibt. Das Aufmauern muss in der Weise gefördert werden, dass der hydraulische Mörtel schon erhärtet ist, bevor er durch die Absenkung unter Wasser kommt. Das Mauerwerk kann auch aus Stampfbeton mit oder ohne Drahteinlage bestehen, und in diesem Falle können einzelne Stücke des Brunnens,

bei kleinen Lichtweiten einzelne Ringe, bei grösseren Ringsegmente, in Vorrat fertig hergestellt werden, so dass die Aufmauerung vor der Absenkung rasch von statten geht. Auch kann man bei Betonmauerwerk, besonders mit Drahteinlage (Moniersystem), wesentlich an Mauerstärke sparen.

Die Kosten für Ausschachten samt Auszimmerung und für das Mauerwerk aus Backsteinen oder Hausteinen mit offenen und geschlossenen Fugen, einschliesslich Verhaltung aller Geräte kann man allgemein nach folgenden Formeln für je 1 steigenden Meter berechnen in Mark:

Über dem Wasserstand		Unter dem Wasserstand	
In Thon, Kies, Sand oder Lehm	In Gerölle oder Felsen	In Thon, Kies, Sand oder Lehm	In Gerölle oder Felsen
9 + h	(9 + h) bis 2 (9 + h)	(9 + h) bis (16 + h)	(12 + h) bis 2 (12 + h)

h bezeichnet die Gesamttiefe des Brunnens.

Rohrbrunnen.

Nach Art des Niedertreibens in den Untergrund unterscheidet man:

1. Rohrbrunnen, deren Röhren durch Einrammen oder Einschrauben in den Boden versenkt werden, wie die Abessinier-Brunnen.

2. Rohrbrunnen, welche durch Vorbohren und Belastung versenkt werden, wie die Bohrbrunnen.

Abessinier-Brunnen.

Die Art ihrer Versenkung bedingt, dass die Röhren im allgemeinen keine grosse Lichtweite haben können, nämlich gewöhnlich 20—60 mm D.

Die Rammbrunnen erhalten am unteren Ende ihrer Saugröhre eine Stahlspitze, und die Röhre ist daselbst mit kleinen Löchern als Seiher gebildet, der im feinen Sande noch durch ein feines Metallsieb vervollständigt wird. Zur Reinigung der Seiher muss das Brunnenrohr zeitweise herausgezogen werden. Beim

Einrammen muss das Rohr möglichst senkrecht stehen, um ein Krummschlagen zu vermeiden. Wo der Boden mild ist, wie Sand und Lehm, wird auch der Schraubenbrunnen verwendet, dessen Saugrohr statt mit einer Stahlspitze mit einer schraubenförmigen Schneide ausgerüstet ist, welche durch Drehen des Rohres in dem Boden vordringt. Auch hier ist ein senkrechter Stand des Rohres erforderlich.

Die Röhren sind aus Schmiedeeisen, innen und aussen galvanisch verzinkt; ihre Wandstärke etwas grösser als die der gewöhnlichen Wasserleitungsröhren.

Mit Abessinierbrunnen kann man selbstverständlich nur kleinere Wassermengen aus nicht sehr grossen Tiefen entnehmen; sie eignen sich besonders zur Untersuchung der Grundwasserhältnisse unmittelbar unter der Bodenoberfläche.

Für grössere Tiefen und besonders wenn der Untergrund steinig, oder sehr dicht und fest, oder gar felsig ist, kann man die Röhren nur nach vorausgegangenem Aushöhlen des Bodens mittels Bohrer und Entfernung des Bohrmehles, versenken.

Während man bei Abessinierbrunnen nur auf kleine Lichtweiten der Röhren beschränkt ist, kann man bei Bohrbrunnen nach Bedarf grössere Lichtweiten wählen; die Mindestlichtweite der Bohrröhren oder Bohrschalen beträgt gewöhnlich 60 mm D., die Höchstlichtweite im allgemeinen 500 mm D.

Für Lichtweite unter 200 mm werden meist schmiedeeiserne, gewalzte und geschweisste Röhren verwendet, besonders wenn das Bohrloch luft- und wasserdicht abgeschlossen werden soll. Diese Röhren werden in Lichtweiten von 25—300 mm geliefert.

Wo es hauptsächlich darauf ankommt, das Bohrloch gegen Nachsturz zu sichern, ohne wasser- und luftdichtes Abschliessen, werden genietete Blechröhren angewendet von 100 mm Lichtweite bis zu jeder beliebigen.

Die Verbindung der einzelnen Röhrenstücke von 4,5—5,0 m Länge wird entweder mittels loser Schraubenmuffe hergestellt, wie bei gewöhnlichen schmiedeeisernen Röhren (Fig. 43), oder mit eingezogenen Rohrenden (Fig. 44); diese Verbindungen haben den Vorzug, dass sie nach Belieben gepresst werden können und die am

meisten in Anspruch genommenen Muffen stark genug gegen Aufreissen gemacht und nötigenfalls ausgewechselt werden können. Bei weniger Inanspruchnahme der Bohrschale genügen aufgetriebene Muffen, wie Fig. 45, die aussen nicht glatt, oder Fig. 46, die aussen glatt sind. Verbindungen mit innen und aussen glatter Wand (Fig. 47) können nur mit Wandstärken von 7 mm aufwärts hergestellt werden. Das Schraubengewinde ist möglichst breitgängig und tief geschnitten. Die Wandstärke beträgt von 60—300 mm Lichtweite 3—6 mm.

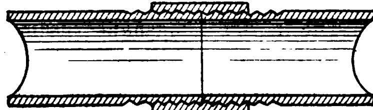


Fig. 43.

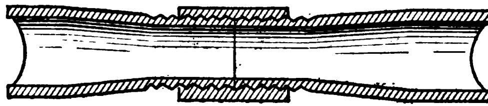


Fig. 44.

Für luft- und wasserdichten Abschluss des Bohrloches von grösserem Durchmesser als 200 mm verwendet man gusseisserne

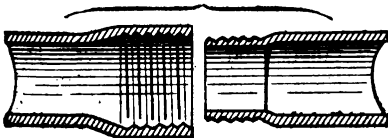


Fig. 45.

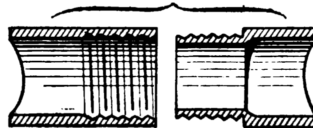


Fig. 46.

Röhren mit schmiedeeisernen Muffen. Gusseiserne Röhren kann man genügend stark gegen jeden Wasserdruck herstellen, wegen der grossen rückwirkenden Festigkeit des Gusseisens.

Sie erhalten Gewinde aufgeschnitten wie die schmiedeeisernen Röhren. Sie werden in Längen von 4,0 m und mit Wandstärken von 9 mm anfangend hergestellt.



Fig. 47.

Statt Verschraubung kann auch Vernietung der Verbindungsmuffen mit innen oder aussen versenkten Nietköpfen angewendet werden; und statt Nieten verwendet

man auch Kopfschrauben, die in das Gewinde eingedreht werden, das in das Bolzenloch der inneren Rohrwand eingeschnitten ist (siehe Fig. 48, 49 und 50).

Die in der Längsnaht zusammengenieteten Blechröhren haben gewöhnlich 2,5 m Länge. Die Verbindung derselben geschieht durch Einschieben des einen Rohrendes in einem über das andre Rohrende genieteten Muff und Befestigung mittels Spaltnieten,

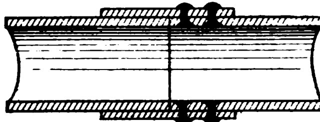


Fig. 48.

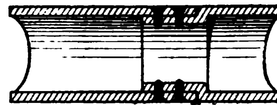


Fig. 49.

die leicht wieder gelöst werden können. Die Blechröhren dienen nur zur Bohrloch-Auskleidung ohne Wasserabschluss, wofür sie nicht widerstandsfähig genug sind; sie werden deshalb mit Löchern versehen, um einen Aufstau des Grundwassers hinter denselben zu verhüten.

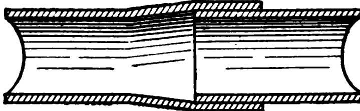


Fig. 50.

Jede Bohrschale, Röhrenfahrt, hat am unteren Ende einen scharfen Rohrschuh, der in leichtem Boden durch Drehen und Pressen des Rohres ein Vordringen des letzteren erleichtert; wo dies nicht möglich ist, muss durch einen Nachnahmebohrer das Bohrloch unter dem Rohrschuh erweitert werden.

Die Herstellung der Bohrlöcher ist je nach Beschaffenheit des Untergrundes und der Tiefe eine verschiedene; man unterscheidet folgende Vorgänge:

1. Die Dreh- und Ramm-Bohrweise, wie sie für die Abessinierbrunnen gebräuchlich ist, mittels Spiralschnecken und Meisselbohrer oder der sogenannten Schappe. Diese Bohrweise eignet sich für alle Erdarten, ausser Geröll.

2. Die Freifall-Bohrweise für harten Boden bis 200 m Tiefe und 600 mm Lichtweite der Bohrlöcher. Sie wird am meisten für Felsbohrungen angewendet und eignet sich besonders da, wo

weite Bohrlöcher in harten Felsen gebohrt werden sollen; man kann damit aber auch in weichem Thon und losem Erdreich arbeiten. Bei den Freifallbohrungen, die meist mit Handbetrieb begonnen werden, kann man jederzeit zum Dampf- oder sonstigen Kraftbetriebe übergehen, was in Tiefen über 200 m immer nötig wird. Bei mehr als 600 m Tiefe empfiehlt es sich, zur Diamantbohrung überzugehen. Das Freifallbohren wird nur mittels des Balancier- oder Schwengelbockes ausgeführt.

3. Die Wasserspül-Bohrweise. Besonders geeignet, wenn es auf Schnelligkeit des Betriebes ankommt. Das losgebohrte Erdreich wird mittels eines durch die hohlen Bohrgestänge und Bohrer gepressten Wasserstrahles an die Oberfläche befördert. Diese Bohrweise ist für alle Erdarten geeignet, ausser Geröll.

Die Lichtweite der Bohrröhren ist weniger durch die zu fördernde Wassermenge als durch die Rücksicht bestimmt, dass in sandigem Boden die Eintrittsgeschwindigkeit in das Rohr ein gewisses Mass nicht überschreiten darf, um eine rasche Versandung zu vermeiden. Bezeichnet W die zu fördernde Wassermenge in der Sekunde, h die Höhe der durchlässigen Wand des Bohrrohres im Bereiche des Grundwasserstromes, s die zulässige Eintrittsgeschwindigkeit und d die Lichtweite des Rohres, so ist

$$Q = \frac{\pi \,.\, d \,.\, h \,.\, s}{n} \text{ und}$$

$$27)\quad d = \frac{n \,.\, Q}{\pi \,.\, h \,.\, s};$$

$n =$ Durchlässigkeitszahl.

Die Grösse von s ist durch Pumpversuche festzustellen; beträgt dieselbe z. B. $s = 0{,}001$ und $n = 4{,}0$

so wird $d = \frac{Q}{0{,}0007854 \,.\, h}$; und weiter für

$h = 2{,}0$ und $Q = 0{,}04$ Sekundenliter ist

$$d = \frac{0{,}0004}{0{,}00157} = 0{,}254 \text{ m.}$$

Wird innerhalb des Rohrbrunnens ein Saugrohr eingelassen, dessen äusserer Durchmesser d_1 ist, so wird

$$27a)\quad d = 1{,}2\, d_1 \text{ und } 0{,}833 \,.\, d = d_1.$$

Fällt der Durchmesser so gross aus, dass damit die Bohrschwierigkeiten unverhältnismässig zunehmen, so ist es vorteilhafter, mehrere engere Bohrröhren statt einer grossen niederzutreiben. Besonders im feinen Sande ist das Absenkungsgebiet eines kleinen Brunnens annähernd ebenso gross, wie das eines weiten Brunnens; durch mehrere kleine Brunnen kann man daher ein bestimmtes Gebiet vollständiger entwässern als durch einen grossen, auch ist man in der Lage, nach Bedarf durch Ausschaltung einzelner Brunnen die Wasserentnahme regeln zu können.

Der zweckmässigste Ort für die Anlage eines Brunnens ist immer dort, wo sich der Thalweg eines Grundwasserstromes befindet, d. h. wo dieser das stärkste Gefälle hat.

Werden mehrere Brunnen angelegt, dann ist es am zweckmässigsten, die Brunnen in einer Linie, vom Thalwege ausgehend, rechts und links senkrecht zur Stromrichtung nebeneinander zu legen und zwar in Entfernungen, welche eine völlige Ausnutzung des Grundwasserstromes sichern. Diese Sicherung kann durch möglichst enge Lage von in einer Reihe befindlichen Brunnen, oder durch zwei- und dreihige Anordnung mit grösserer Entfernung der Brunnen untereinander erreicht werden (siehe Fig. 51, 52 und 53, Tafel V), ferner durch Nebeneinanderreihung der Brunnen in einem Kreise (Fig. 54 Tafel VI).

Ist der Grundwasserträger von gleichmässiger Beschaffenheit, so dass der Grundwasserstrom auf grosse Ausdehnung von einheitlicher Richtung ist, so ist die zur Stromrichtung senkrechte Linie eine gerade; in ungleichartigem, besonders von Einlagerungen zerteiltem Untergrunde ist der Grundwasserstrom ebenfalls kein einheitlicher, sondern in verschiedene Einzelströme zerteilt, und die Senkrechten auf deren verschiedene Richtungen liegen demnach auch nicht in einer Geraden. Die Anordnung der Brunnen kann in diesem Falle keine regelmässige Figur bilden, wenn sie den Untergrundverhältnissen entsprechend durchgeführt wurde.

Unter der Annahme, dass der Grundwasserstrom ein einheitlicher und gleichmässiger sei, erscheint die Anordnung der Brunnen in einer zur Stromrichtung senkrechten geraden Linie die natürlichste. Wendet man nur eine Reihe Brunnen an, so sind diese

so nahe aneinander zu legen, dass die Kreise ihrer Absenkungsgebiete sich schneiden (nicht bloss berühren), damit eine möglichst volle Ausnützung des Grundwasserstromes gelingt.

In Fig. 51 z. B. beträgt die Entfernung der einzelnen Brunnen von einander gleich $^{3}/_{4}$ D.; D. = Durchmesser des Absenkungsgebietes. Die Länge des Absenkungsgebietes einer einreihigen Brunnenanlage ist demnach $L = (B_z - 1) \cdot 0{,}75\ D + D$ oder rund $B_z \cdot D \cdot 0{,}75$. Die Breite dieses Gebietes ist D., daher der

28) Flächenraum $F = 0{,}75 \cdot B_z \cdot D^2$; für $B_z = 10$ und $D = 50$ m ist $F = 18750$ qm.

Bermerkung: B_z die Anzahl Brunnen in einer Reihe.

Bei der zweireihigen Anordnung (Fig. 52) sind die Brunnen in der Längenrichtung 1,5 D. und in der Querrichtung 1,25 D. von einander entfernt, und die Brunnen der zweiten Reihe liegen zwischen je zwei Brunnen der ersten Reihe, so dass der Grundwasserstrom hier ebenfalls auf die Länge $L = 0{,}75 \cdot B_z \cdot D$ gefasst wird. Die Breite der Absenkung ist hier = 2,5 D und demnach das ganze Absenkungsgebiet

28a) $F = 1{,}6875 \cdot B_z \cdot D^2$ und hier $B_z = 10$, und $D. = 50{,}0$ ist $F = 43\,187$ qm,

also mehr als doppelt so gross, als bei der einreihigen Anordnung und der gleichen Zahl Brunnen, und dadurch wird die Leistung der einzelnen Brunnen bei gleicher Absenkung des Wasserspiegels im Brunnen erhöht. Durch das Übergreifen der einzelnen Absenkungsgebiete der einreihigen Anordnung wird jeder Brunnen durch die Wasserentnahme der Nachbarbrunnen beeinflusst. Legt man die Brunnen weiter auseinander, so dass sich die Absenkungskreise berühren, so wird der Grundwasserstrom in der Nähe dieser Berührungsstellen nur in geringem Masse gefasst, die Ausnutzung der Strombreite L ist eine unvollständige. Dieser Übelstand wird durch zwei- und mehrreihige Anordnung selbst bei grösseren Abständen der Brunnen vermieden durch die Versetzung derselben gegeneinander; diese Versetzung ist derart, dass der durchgehende Grundwasserstrom in seinen einzelnen Teilen immer von je zwei Brunnen gefasst wird.

Bei der 3reihigen Anordnung (Fig. 53) sind die Brunnen in der Längsrichtung 2,25 D. und in der Querrichtung 1,25 D. von einander entfernt, so dass die Länge der Gesamtabsenkung $L = (2{,}25 \cdot B_z + 1)\,D$, und die Breite $B = (2 \cdot 1{,}25 + 1)\,D$ und das eingeschlossene Absenkungsgebiet

$$28b)\quad F = 3{,}25\,(2{,}25\,B_z + 1) \cdot D^2$$

für $B_z = 3$ und $D. = 50$ ist

$$F = 3{,}25\,(2{,}25 \cdot 3 + 1) \cdot 2500 = 63\,000 \text{ qm.}$$

Das von nur 9 Brunnen eingeschlossene Absenkungsgebiet ist hier mehr als dreimal so gross als das von 10 in einer Reihe stehender Brunnen. Selbstverständlich werden mit der Zunahme des von einer bestimmten Anzahl Brunnen eingeschlossenen Absenkungsgebietes auch die innerhalb desselben liegenden nicht abgesenkten Flächen grösser, deren Untergrund gleichsam als Speisebehälter der Brunnen dient, und daher, wenn die Grösse dieser nicht abgesenkten Flächen eine mässige bleibt, auf die Leistung der Brunnen fördernd wirkt. Je durchlässiger der Untergrund ist, desto näher sind die Brunnen aneinander zu rücken, damit kein Teil des Grundwasserstromes unbenützt durch die Brunnen-Fassungsanlage gehen kann.

In Fig. 54 ist eine kreisförmige Anordnung der Brunnen, die man im Gegensatze zu den oben angeführten „Reihenbrunnen" als „Ringbrunnen" bezeichnet, dargestellt.

Die Länge dieser Anlage senkrecht zur Stromrichtung ist dieselbe wie die Reihenanlagen nämlich: $0{,}75\,D \cdot B_z$, wobei B_z die Anzahl Brunnen bezeichnet, die in einer Reihe wie Fig. 34 nebeneinander gestellt sind. In Bezug auf die Stromrichtung des Grundwassers kann man einen solchen Ring als zweireihig betrachten, indem die obere Kreishälfte die erste, die untere Kreishälfte die zweite Reihe bildet. Mit Rücksicht auf diese Doppelreihe, wovon eine die andere ergänzt, sind die Brunnen in gewissem Abstand voneinander gestellt. Das Absenkungsgebiet ist eine ringförmige Fläche, deren mittlerer Durchmesser D_m die diametrale Entfernung der Mittelpunkte zweier gegenüber liegender Brunnen ist; der äussere Durchmesser ist $D_m + D$, der innere Durchmesser der Ringfläche ist $D_m - D$, daher

28c) $F = \pi \cdot (D_m \cdot D)$.

Die von diesem Ringe eingeschlossene innere Kreisfläche liegt ausserhalb der Absenkungswirkung der Brunnen.

Für $D_m + D = 0{,}75\ D \cdot B_s$ ist

$D_m = 0{,}75 \cdot D \cdot B_s - D.$;

$_s$ ist hier = 10 und D. = 50,0 m, daher

$D_m = 325{,}0$ m und

$F = \pi \cdot 325{,}0 \cdot 50{,}0 = 51\,050$ qm.

Für die oben angeführten Brunnenanordnungen erhält man danach folgende Grössen der von der Anlage eingeschlossenen Absenkungsgebiete für je 1 Brunnen:

Einreihige Anlage $= \frac{18\,750}{10} = 1875$ qm

Zweireihige " $= \frac{43\,187}{10} = 4318$ "

Dreireihige " $= \frac{63\,000}{9} = 7000$ "

Ringbrunnen " $= \frac{51\,050}{12} = 4250$ "

Im allgemeinen geht daraus hervor, dass die Reihenbrunnen in mehreren Reihen hintereinander senkrecht zur Stromrichtung eine ausgedehntere Ausnützung des Grundwasserstromes gestatten als Ringbrunnen, die sich der Leistung der zweireihigen nähern.

Die Ringbrunnen bezeichnet man auch als erweiterte Schachtbrunnen, deren Durchmesser zugleich der Durchmesser des Leitkreises der Brunnenaufstellung ist. Zutreffend, wenn auch nur annähernd, ist dieser Vergleich nur dann, wenn die Brunnen so enge zusammengerückt werden, dass sie gleichsam eine geschlossene Umfangsmauer der inneren Kreisfläche darstellen. Mit einer so grossen Anzahl Brunnen kann man aber durch Reihenstellung jedenfalls eine grössere Leistung erreichen als durch Ringbildung.

Sämtliche Brunnen einer Fassungsanlage stehen durch eine Hauptleitung mit einem Sammelschachte in Verbindung, aus welchem das Wasser durch ein Pumpwerk geschöpft wird; mit der Hauptleitung stehen die einzelnen Bohrbrunnen durch Nebenleitungen in

Verbindung. Jede Nebenleitung kann nach Bedarf durch eine Absperrvorrichtung ausser Betrieb gesetzt werden, ebenso auch ein Teil der Hauptleitung. Die Bohrröhren selbst haben häufig am oberen Ende einen gemauerten Schacht von mehreren Metern Tiefe, in welchen sie ihr Wasser ergiessen und der so ein kleines Reservoir bildet, in welches die Saugröhre mündet.

Der untere Teil der Bohrröhre ist auf die Höhe des zu fassenden Grundwasserstromes gelocht oder geschlitzt, und hier tritt das Wasser bei der Absenkung des Wasserspiegels ein. In sandigem Boden ist es nötig, das Eindringen von Sand durch Vorlage eines Seihers oder Filters, welcher den durchlässigen Rohrteil umhüllt, zu verhindern. Zu diesem Zwecke wird nicht die Bohrschale selbst gelocht oder geschlitzt, sondern es wird innerhalb derselben ein Saugrohr bis zum Grund des Bohrloches abgelassen und dieses Saugrohr ist am unteren Ende mit den entsprechenden Seiher- oder Filtervorrichtungen versehen. Die Seiher bestehen aus einem feinen Geflechte von Messingdraht, welches über den durchlässigen Teil der Röhre gezogen wird; es ist unvermeidlich, dass sich diese Seiher durch Sand und Schlamm mehr oder weniger schnell verlegen, und durch Herausziehen des Rohres einer Reinigung unterworfen werden müssen.

Die Filter bestehen entweder aus einem ausziehbaren Filterkorbe oder der Zwischenraum zwischen Saugrohr und Bohrschale wird mit einer Kiesschicht ausgefüllt; Fig. 57 ist der von Szemreker konstruierte Filterkorb mit Spülvorrichtung. Er besteht aus einem äusseren und inneren Korbe, deren Wandungen auf die Höhe des Wassereinlasses geschlitzt, und die nach unten durch einen Boden geschlossen sind. Die Schlitze des inneren Korbes sind mit einem feinen Drahtsieb umhüllt, während der äussere Korb unmittelbar mit der Bohrwand in Berührung steht, nachdem die Bohrschale bis zum oberen Rand des Korbes in die Höhe gezogen wurde. Der auf dem Boden des äusseren Korbes sich sammelnde Schlamm kann durch zwei Wasserröhren, welche den Boden des inneren Korbes durchbrechen, zeitweise mittels Druckwassers aufgerührt und in die Höhe getrieben werden. Der innere Korb kann behufs Reinigung des Seihergewebes in die Höhe gezogen werden.

Bei den Brunnen mit Filterfüllung ist entweder die Bohrschale ebenso geschlitzt wie die von ihr eingeschlossene Saugröhre, und die Bohrschale braucht in diesem Falle nicht hoch gezogen zu werden; oder es ist nur die Saugröhre geschlitzt (Fig. 55 u. 56, S. 200) in welchem Falle die Bohrschale nach Einbringung des Filtermaterials so hoch gezogen werden muss, dass die Schlitze des Saugrohrs dem Wassereinlass freigegeben sind. Das Filter besteht aus Kies verschiedener Korngrösse, welcher in den Zwischenraum von Saugrohr und Bohrschale derart eingefüllt wird, dass die Korngrösse von innen nach aussen abnimmt. Ist ein solches Filter verschlammt, so wird das Saugrohr ausgezogen, Filter und Schlamm ausgelöffelt und danach wieder ein neues Filter eingebracht.

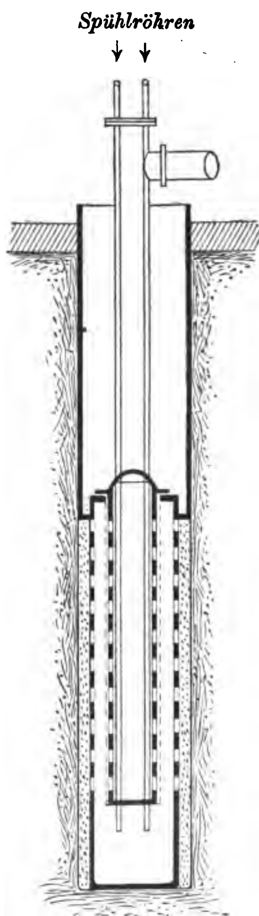


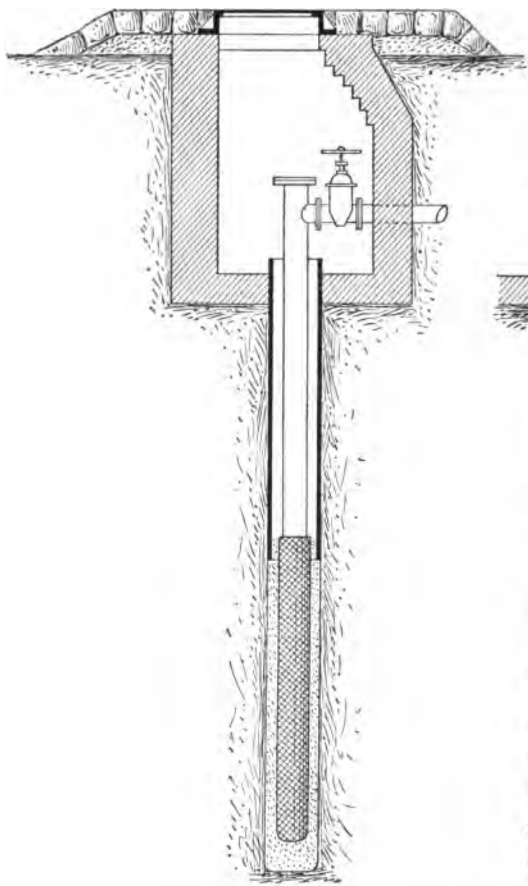
Fig. 57.

Auch diese Filterbrunnen können durch Hinabführung von Röhren für Spülung der Seiher durch Druckwasser eingerichtet werden. Der geschlitzte Teil der Saugröhren ist mit einem Zinküberzug gegen Rost zu schützen oder noch besser aus Kupfer herzustellen; dasselbe gilt von den Filterkörben.

Die verschiedenartigen Konstruktionen erhellen am besten aus der kurzgefassten Beschreibung ausgeführter Anlagen, wovon ich nachstehend einige anführe.

Bei der ersten **Rohrbrunnen-Anlage** für die **Leipziger Wasserversorgung** wurden 5 Ringbrunnen von je 20 Bohrbrunnen und ausserdem noch 40 Einzelbrunnen zusammen also 140 Einzelbrunnen angelegt; bei der Erweiterung dieser Anlage sind weitere

78 Rohrbrunnen in je 9,0 m Entfernung voneinander und in einer Linie senkrecht zum Grundwasserstrome gebohrt worden. Diese Brunnen haben eine durchschnittliche Tiefe von 18,0 m, sie



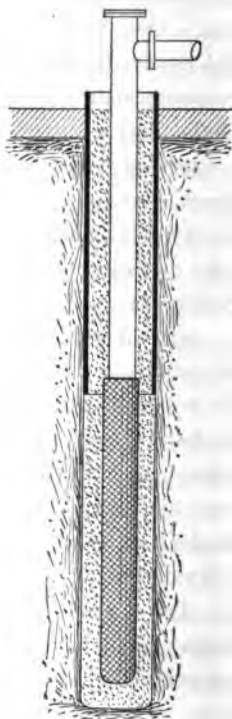


Fig. 55. Fig. 56.

endigen in grobem Kiese, wo sie mit einem 5,0 m hohen Filterkorbe versehen sind. Sie stehen mit einer gemeinsamen Heberleitung von 400—700 mm D. in Verbindung, welche in den Hauptsammelschacht taucht. Später wurden noch 94 Brunnen mit je

18,0 m Entfernung in den Muldeschotter gebohrt und sollen bei einer Absenkung von 6,0—7,0 m, durch die ganze Anlage, täglich 80000 cbm Wasser erhalten werden. Die Heberleitung, welche eine Vorrichtung für dauernde Entlüftung besitzt, hat eine Länge von 1700 m.

Das Wasserwerk Pankow bei Berlin besitzt 4 Rohrbrunnen, welche das Wasser aus einer Tiefe von 12—20 m entnehmen; drei dieser Rohrbrunnen sind mittels Heberleitung mit dem Sammelbrunnen verbunden, während der vierte in dem Sammelbrunnen selbst erbohrt ist. Der Sammelbrunnen hat eine Tiefe von 9,0 m, mit einem lichten Durchmesser von 3,50 m. Die Rohrbrunnen bestehen aus einer Bohrschale von 800 mm D., die nach Einbringung der Filterkörbe wieder vollständig ausgezogen wurden; der Zwischenraum zwischen Filterkorb und Bohrschale wurde mit Kies ausgefüllt. Der Filter hat 600 D. und ist mit einem inneren, beweglichen Filterkorbe (Szemreker) versehen. Der äussere Filter besteht aus verzinktem Eisenblech, der innere aus Kupfer und ist mit kupfernem Drahtgewebe umhüllt.

Die erste Brunnenanlage für die Wasserversorgung von Frankfurt a. M. hatte eine Fassungslänge von 700 m mit 140 kupfernen Rohrbrunnen von 50 mm D. in 5,0 m Abstand, welche täglich 4750 cbm Wasser lieferten. Die Brunnen haben eine Tiefe von 10,0—12,0 m mit 3,0—4,0 m hohem Seiher und sind in Gruppen von je 10 Stück mit dem Hauptsaugrohre verbunden. Hierzu kommt eine zweite, ähnliche Anlage von 140 Brunnen und ferner eine dritte mit 12—18000 cbm täglicher Wasserlieferung. Die dritte Anlage besteht aus einem 15,0 m tiefen Stollen von 2100 m Länge, in dem die Saugröhren liegen, von welchen 210 Rohrbrunnen von 70 mm D. in Abständen von 10,0 m ins Grundwasser hinabreiehen und zwar bis zu 8,0 m unter Saugrohr geschlossen, darunter noch 6,0 m durchlocht.

Zur Wasserversorgung der Stadt Nürnberg wird das Wasser aus einer am Fusse des Fränkischen Jura eingegrabenen Thalrinne, 18 km von Nürnberg entfernt, gewonnen und zwar mittels Brunnen, die ihr Wasser durch eine 2200 m langen Sammelleitung einem Sammelbrunnen zuführen, von wo dasselbe mittels

natürlichen Gefälles durch eine 8300 m lange Druckrohrleitung in den Hochbehälter gelangt.

Die Brunnen bestehen aus gusseisernen Röhren von 150 mm D., die mit dem Fusse auf einer Betonplatte stehen; das untere Rohrende ist 1,50 m hoch geschlitzt und von 4 Filterschichten eingehüllt, deren Korngrösse von innen nach aussen abnimmt, die äussere Schicht hat 3 mm, die innere 16 mm Korngrösse. Das Brunnenrohr ist bis zur Erdoberfläche verlängert und hier mit einer fast luftdicht abschliessenden Kappe abgedeckt. Jeder einzelne Brunnen ist mit der Sammelleitung durch Abschlussventil verbunden; die Sammelleitung hat zum Zwecke geringerer oder grösserer Absenkung des Wasserspiegels in den Brunnen verschiedene Tieflage, so dass je nach Bedarf durch Einschaltung der entsprechenden Tieflagen das Wasser mehr oder weniger gestaut werden kann, um den Grundwasserträger nicht ohne Not zu stark in Anspruch zu nehmen. Die Ergiebigkeit der Fassungsanlage schwankt zwischen 80—100 Sekundenliter.

Die Fassungsanlage für das Potsdamer Wasserwerk befindet sich am Ufer des Jungfernsees und besteht aus 1 Schachtbrunnen von 2,0—2,50 m lichten Durchmesser und 11,50 m Tiefe, sowie aus 14 Bohrröhren von 210 mm D. und 12,0 m Länge, welche bis 11,0 m unter den Nullpunkt der Havel eingesenkt sind, und welche als Schutzröhren dienen für die engeren, schmiedeeisernen zweiten Schutzröhren, die bis 23 m unter Null hinabreichen und dabei auf etwa 3,0 m Höhe groben Sand und Kies durchsenken. Innerhalb dieses zweiten Schutzrohres erstreckt sich das eigentliche kupferne Saugrohr von 100 mm D., bis zum Grunde der Bohrung; nach Einbringung des Saugrohres wird das zweite Schutzrohr wieder vollständig herausgezogen, das erste Schutzrohr bleibt dauernd als Auskleidung des Bohrloches stehen. Das untere Ende des Saugrohres ist auf 3,0 m Höhe mit einem Seiher umhüllt.

Fassungsanlage des Charlottenburger Wasserwerkes am Wannsee. Die Wasserentnahme erfolgt in einer Tiefe von 20—30 m aus einer Diluvialschicht, welche von der oberen durch eine Thonschicht getrennt ist. Die Rohrbrunnen bestehen aus gusseisernen, 175 mm weiten Röhren und sind durch Heber-

leitungen miteinander verbunden, welche das Wasser einem gemeinsamen Sammelschachte zuführen, von wo es durch Pumpen weiter gefördert wird. Die Brunnen haben einen Abstand von je 25,0 m und sind etwa 100 Brunnen auf einem Gebiete von 1,5 qkm verteilt, welche täglich 50000 cbm Wasser liefern; die Heberleitung hat eine Lichtweite von 550—850 mm. Ausserdem besitzt Charlottenburg noch Fassungen am Teufelssee und Nikolaussee.

Ein interessantes Beispiel der Unbeständigkeit mancher Anlagen bietet die Wasserversorgung von Berlin. Die erste Wasserwerksanlage entnahm das Wasser aus der Spree vor dem Stralauer Thore und wurde 1856 von einer englischen Gesellschaft in Betrieb gesetzt. Die Entnahme von Wasser war anfangs gering, später wurde sie stärker, weil dann Wohnungen ohne Wasser schwer zu vermieten waren. Im Jahre 1872 war dies Werk an der Grenze seiner Leistungsfähigkeit angelangt, obwohl erst noch nur ein Teil der Stadt und auch dieser nur mangelhaft mit Wasser versorgt war. Die Stadt kaufte 1873 das englische Werk, und da das Wasser der Oberspree wegen der Vermehrung der Fabriken sich immer mehr verschlechterte, so wurden neue Werke am Tegeler- und Müggelsee erbaut. Das eine wurde 1877, das andre 1893 eröffnet, und Ende 1893 wurde das Stralauer Werk ausser Betrieb gesetzt.

Das Tegeler Werk entnahm das Wasser anfangs mittels Tiefbrunnen aus dem Untergrunde, aber die im Sommer 1878 gemachten Erfahrungen durch das Auftreten einer Algenart, der Crenothrix polyspora, nötigten die Stadt, nun das Wasser unmittelbar aus dem Tegelersee zu entnehmen. Nach 1884 wurde am Müggelsee und an der Dahme auf Brunnenwasser gebohrt, aber mit ungünstigem Ergebnis, weshalb man endgiltig auf die Brunnenanlage verzichtete.

Das Werk am Müggelsee wurde daher von vornherein auf unmittelbare Entnahme des Seewassers eingerichtet und mit grossen Filteranlagen ausgerüstet, wie auch das Tegeler Werk. Von den Filtern gelangt das Wasser in die Reinwasserbehälter, die in Wassertürmen untergebracht sind; der Wasserturm für Tegel befindet sich in Charlottenburg, der des Müggelsees in Lichtenberg; ausserdem sind noch besondere Wassertürme für die hochgelegenen

Stadtteile vorhanden, nämlich am Tempelhoferberg und an der Belforterstrasse.

Im vergangenen Jahre haben sich nun wiederholt grosse Verunreinigungen des Berliner Leitungswassers, trotz der Filtration, eingestellt, so dass eine gründliche Untersuchung des Wassers und seiner Ursprungsgewässer vorgenommen werden musste, deren Ergebnis nun ist, dass die Wasserentnahme unmittelbar aus den Seen aufgegeben und zur Grundwasserversorgung mittels Bohrbrunnen, Filtration und Enteisenung, ähnlich wie die Charlottenburger Wasserversorgung, übergegangen werden muss. Die Ausführung dieser neuen Wasserwerke ist dringend und wird daher auch baldigst zur Ausführung gelangen, hoffentlich mit längerem Bestande als die bisherigen Werke.

Zum Schlusse sei noch erwähnt, dass man Brunnen, welche im Überschwemmungsgebiete eines Gewässers liegen, so hoch über die Erdoberfläche führt, dass sie vom Hochwasser nicht überflutet werden, und ausserdem dieselben noch wasserdicht abschliesst.

Für die Absenkung der Röhren wird in steinigem Boden ebenso wie bei Schachtbrunnen in einzelnen Fällen auch Pressluft zur Wasserverdrängung angewendet. Zu diesem Zwecke müssen die Mantelröhren wenigstens eine Lichtweite von 1,0 m haben. Ein durch einen Motor betriebener Luftkompressor steht mit dem luftdicht abgeschlossenen Mantelrohre derart in Verbindung, dass nach Bedarf der Kompressor ausgeschaltet und das Mantelrohr zum Ab- und Aufsteigen der Arbeiter, sowie zur Förderung des gelösten Bodenmaterials benutzt werden kann. Im übrigen werden diese hergestellten Rohrbrunnen mit Saugrohr und Filter ausgerüstet wie die Bohrbrunnen von kleinerer Weite. Die Dicke der Filterschichten zwischen Saug- und Mantelrohr, macht man gewöhnlich 100—200 mm.

Sehr tiefe Bohrlöcher, namentlich solche, welche mehrere Wasserstockwerke durchfahren, müssen vollständig verrohrt werden, teils um den Nachfall zu verhüten, teils um das Eindringen unerwünschter Wasser zu verhüten; die Verrohrung sehr tiefer Bohrlöcher ist gewöhnlich teleskopartig, indem man zu leichterer Überwindung des Widerstandes beim Niedertreiben der Röhrenfahrt

diese in einzelne Strecken zerlegt, wovon jede für sich eingetrieben wird. Damit man aber, nachdem eine Strecke ganz eingetrieben ist, die nächste nachbringen kann, muss diese eine kleinere Lichtweite als die vorausgegangene haben, so dass die ganze Bohrschale aus mehreren sich immer mehr verengenden Röhrenstrecken besteht, wie ein ausgezogenes Teleskop; man bezeichnet dies auch als „verlorene Röhrenfahrt". Die einzelnen Rohrstrecken greifen an ihren Enden übereinander und die hier entstehende Fuge muss abgedichtet werden; derartige Röhrenstrecken können aber nur schwer oder garnicht gesenkt oder gehoben werden, weshalb es besser ist, jede einzelne Rohrstrecke bis zu Tag reichen zu lassen.

Sechster Abschnitt.

Die künstliche Sammlung der Niederschlagswasser.

Schon im grauesten Altertume wurden die atmosphärischen Niederschläge, welche in tausenden von kleinen Wasserrinnen über die Erdoberfläche verlaufen, um auf diesem Wege in die Meere zu gelangen oder auf dem der Verdunstung den Wasserkreislauf fortzusetzen, in Sammelbehältern zusammengeführt, um die so vereinigten Wasser zuvor den Bedürfnissen der Menschen dienstbar zu machen. Diese Sammelanlagen hatten schon in jenen fernen Zeiten wesentlich verschiedenen Charakter; der Sammelbehälter wurde entweder durch Umschliessung eines Raumes mittels einer wasserdichten Wand oder durch einseitige Absperrung eines vorhandenen natürlichen Beckens gebildet, wie dies in der Gegenwart auch noch geschieht. Die erstgenannten Anlagen, aus künstlicher Umschliessung eines Raumes bestehend, werden sowohl für einzelne Gebäude als auch für grosse Gemeinwesen hergestellt, und man bezeichnet sie gewöhnlich als Cisternen, Sammelteiche u. s. w. Sie unterscheiden sich von den Reservoirs, Hochbehältern, Reinwasserbehältern u. s. w. der Wasserleitungen dadurch, dass häufig mit

der Sammlung des Wassers zugleich auch dessen Klärung und Reinigung in den Cisternen bewirkt wird, sowie ferner dadurch, dass die Cisternen einen Fassungsraum erhalten, welcher eine Ausgleichung zwischen dem Wasserbedürfnis und den Schwankungen der Jahresniederschläge, mit Rücksicht auf deren Höchst- und Mindestbetrag, bewirken kann; die Hochbehälter dagegen haben die Bestimmung, die Tagesschwankungen des Bedarfes mit dem regelmässigen Zufluss in Einklang zu bringen. Die Cisternen erhalten deshalb immer im Verhältnis zu dem Wasserbedürfnis einen viel grösseren Fassungsraum als die Reservoirs oder „Sammler“ der Wasserleitungen.

Die Cisternen.

In Gegenden, wo Quellen und oberirdische Wasserläufe infolge der grossen Durchlässigkeit des Bodens, der alle Niederschlagswasser verschluckt, mangeln, sind Cisternen oft das einzige Mittel um der Bevölkerung den dringendsten Wasserbedarf zu decken; es genügt, solchen oft, das auf den Dachflächen oder anderen befestigten Bodenflächen ablaufende Wasser zu sammeln, um der Wassernot abzuhelfen.

Gute Cisternen sollen möglichst dem Einflusse des Lichtes und der Wärme entzogen, sowie gegen Verunreinigung von aussen geschützt sein. Unter dem Einflusse des Lichtes und der Wärme finden die niederen Organismen die ihnen günstigen Lebensbedingungen, während in einem allseitig geschlossenen Behälter alle Lebewesen absterben, alle im Wasser enthaltenen Sinkstoffe setzen sich zu Boden und wirken klärend auf das Wasser; durch den längeren Aufenthalt des Wassers in Cisternen, welche in den natürlichen Boden gebettet sind, nimmt das Wasser die Bodentemperatur an, wodurch es dem Quellwasser in dieser Hinsicht gleich wird.

Die Durchbrechung der Cisternenwand für Durchführung des Überlaufes ist aus Reinlichkeitsgründen mit einem sogenannten Wasserverschluss zu versehen, um das Eindringen schlechter Luft zu verhindern, wenn der Überlauf nicht unmittelbar in die freie

Luft bewirkt werden kann. Die Unterkante des Ablauf- oder Entnahmerohres soll mindestens 0,5 m über dem Boden der Cisterne sich befinden, damit die auf dem Boden etwa vorhandenen Ablagerungen der Sinkstoffe nicht mit abgezogen, sondern nur durch die von Zeit zu Zeit vorzunehmenden Reinigungsarbeiten entfernt werden. Zu diesem Zwecke ist die Cisterne mit einer gewöhnlich geschlossenen Einsteigöffnung zu versehen.

Je nach den Bodenverhältnissen und manchmal auch mit Rücksicht auf die Kosten kann man die Umfangswände der Cisterne aus Mauerwerk oder durch Böschung des natürlichen Bodens und Verkleidung desselben herstellen, beides jedoch immer wasserdicht; auch die Sohle ist, besonders wenn der natürliche Boden durchlässig ist, sorgfältig mit einer Verkleidung aus Mauerwerk oder Thonschlag, oder beides zusammen, wasserdicht abzuschliessen.

In neuerer Zeit wird zweckmässig für Cisternenbau Zementbeton verwendet, sowohl für die Umfangswände, als auch für die Sohle und die Überdeckung; die Herstellung wird bei Anwendung dieses Materials, besonders wenn andere Bausteine mangeln, rasch gefördert und kann sehr dicht ausgeführt werden, und bei Anwendung eines kreisförmigen Querschnittes kann man mit geringen Wandstärken auskommen, indem der einen geschlossenen Körper bildende Beton eigentlich nur als wasserdichte Bekleidung des natürlichen Bodens zu dienen hat. Wenn man für die Umfassung einer Cisterne zum Teile vorhandene Kellerwände benützt, so genügt oft ein blosser Zementverputz derselben, um dieselben für den Zweck geeignet zu machen.

Die Tiefe der Cisternen beträgt meist 3—4 m, und der mögliche Wasserinhalt soll so bemessen sein, dass für die voraussichtliche regenlose Zeit genügender Wasservorrat vorhanden ist.

Bezeichnet n die Anzahl der Regentage während eines Jahres, so ist 365—n die Anzahl der regenlosen Tage; ist ferner H die einem Orte zukommende jährliche Niederschlagshöhe, für Deutschland z. B. durchschnittlich 650 mm, sowie M die täglich erforderliche Wassermenge, so muss der Cisterneninhalt für den Bedarf der regenlosen Zeit einen Wasservorrat von

$$29)\ J = (365 - n)\ .\ M,$$

den man jedoch zweckmässig auf $J = 1{,}25\ .\ (365-n)\ .\ M$ erhöht, wegen der unvermeidlichen Wasservergeudungen und unvorhergesehenen Witterungsverhältnisse. Für einen täglichen Wasserbedarf von 1 cbm und eine ununterbrochene regenlose Zeit von 2 Monaten wird demnach

$$J = 1{,}25\ (365-305)\ .\ 1{,}0 = \text{rund } 75 \text{ cbm.}$$

Die zur Sammlung der erforderlichen Wassermenge ausreichende Grösse der Niederschlags- oder Auffangsfläche ergibt sich aus der Niederschlagshöhe H, wobei man jedoch berücksichtigen muss, dass die Niederschläge nicht in ihrer ganzen Grösse nutzbar gemacht werden können, weil wegen der zeitweise grossen Häufigkeit und Stärke der einzelnen Regenfälle die Cisterne öfter überfüllt wird und überläuft. Der Sicherheit wegen darf man daher nur die Hälfte der jährlichen Regenhöhe in Rechnung bringen, wonach

30) die Sammelfläche $F = \frac{M\ .\ 365}{0{,}5\ .\ H} = 730\ .\ \frac{M}{H}$ wird;

für $M = 1{,}0$ cbm und $H = 650$ mm demnach

$$F = 730\ .\ \frac{1{,}0}{0{,}650} = 1123 \text{ qm.}$$

Die Cisterne grösser anzulegen, als der Wasserbedarf für die regenlose Zeit es erfordert, ist deshalb nicht empfehlenswert, weil ein öfterer Wechsel des Wasserinhaltes der Cisterne für die Güte des Wassers förderlich ist; je grösser aber die Cisterne verhältnismässig ist, desto länger verweilt das Wasser darin.

Wo ein natürlicher Boden von genügender Durchlässigkeit und Ausdehnung zur Verfügung steht, kann man die Bodenfläche als Sammelfläche verwenden, so dass das versickernde Wasser, bevor es durch die Bodendecke der Cisterne in diese gelangt, schon filtriert ist. Dies Verfahren ist jedoch nur für kleine Wassermengen verwendbar.

Kann man die Cisterne mit ihrer ganzen Tiefe in den natürlichen Boden versenken, so ist dies zur Erreichung einer kühlen Wassertemperatur sehr zweckmässig; andernfalls, wenn ein Teil der Cisterne über die Bodenoberfläche emporragt, so muss dieser

den Boden überragende Teil durch eine Erdanschüttung gegen die nachteiligen Einflüsse der Aussentemperatur, Hitze und Frost, geschützt werden. Die teilweise oberirdische Anlage der Cisterne bietet den Vorteil, dass dadurch die Einrichtung eines Sohlen- oder Grundablasses um so mehr erleichtert wird, je höher die Cisternensohle der Bodenoberfläche gerückt wird. Die Einrichtung eines Grundablasses ist insofern von Wichtigkeit, als mittels desselben die Schlammablagerungen rasch und gründlich entfernt, fortgespült werden können, zu welchem Zwecke die Sohle mit starkem Gefälle nach der Mündung des Ablasses anzulegen ist. Die Durchspülung nimmt man am besten bei Beginn eines Regenfalles vor, so dass die ersten Sammelwasser des Regens, die gewöhnlich viel Sinkstoffe enthalten, noch mit weggespült werden. Möglichste Reinhaltung der Sammelflächen ist besonders förderlich für die gute Beschaffenheit des Wassers, und in dieser Beziehung haben z. B. Schieferdächer den Vorzug vor anderen, sowie eine Bodenfläche mit Zementverputz einer gepflasterten vorzuziehen ist.

Das Schöpfen des Wassers aus der Cisterne sollte ganz unterlassen werden, weil dadurch das Wasser meist lebhaft bewegt, der Bodensatz aufgerührt und damit das Wasser getrübt wird. Die Wasserentnahme soll nur mittels einer Pumpe bewirkt werden, die seitwärts der Cisterne aufzustellen ist, um zu verhindern, dass die während des Pumpens auf den Boden laufenden Wasser in die Cisterne zurückgelangen können. Auch ist zu vermeiden, dass die Wasserentnahme weiter als bis höchstens 0,50 m über der Sohle getrieben wird, weshalb das Pumpensaugrohr in dieser Höhe über dem Boden endigen muss.

Wird beabsichtigt, das Wasser in der Cisterne einer Reinigung zu unterziehen, bevor es zur Entnahme gelangt, so wird der Cisternenraum, in dessen Mitte auf die ganze Höhe der Cisterne ein Sammelschacht errichtet ist, auf eine bestimmte Höhe mit reinem Flusssand gefüllt und der Wassereinlauf derart geregelt, dass er gleichmässig über der ganzen Filterfläche verteilt ist. Der Sammelschacht ist etwa 0,50 m über dem Cisternenboden auf seinem ganzen Umfange mit Schlitzen zum Einlassen des filtrierten Wassers versehen. Um ein Verstopfen

dieser Schlitze durch Sand zu vermeiden, besteht die Umhüllung des Schachtes bis über die Schlitze aus grobem Kiese oder Schotter, der sich nach dem Cisternenumfange zu allmählich bis zum Korne des Filtersandes verfeinert. Statt dessen kann man auch dem Sammelschachte selbst über seiner Sohle eine Sandfüllung geben, durch welche das filtrierte Wasser, von unten nach oben aufsteigend, in den Schacht tritt.

Die venetianischen Cisternen sind in dieser Weise eingerichtet; ihre Sandfüllung reicht bis unter die Decke der Cisterne, und die Verteilung des einlaufenden Wassers wird durch Kanäle, die in die obere Sandschicht eingebettet sind, gleichmässig über die Filterfläche bewirkt. Der Sammelschacht erhebt sich dabei gewöhnlich etwa 1 m über dem Pflasterboden, welcher die Cisterne überdeckt, ist architektonisch ausgebildet und dient als Schöpfstelle. Die Verteilungskanäle müssen für die Vornahme zeitweiser Reinigung zugänglich und gross genug sein, um bei stärkeren Regenfällen eine genügend grosse Wassermenge aufnehmen zu können, weil in diesem Falle der Durchgang durch den Filtersand in geringerem Masse stattfindet, als der Zulauf von der Sammelfläche; selbstverständlich sind die Verteilungskanäle mit dem Überlaufe der Cisterne in Verbindung zu bringen. Wird der Cisterne aber ein Klärbecken vorgelegt, welches die Sammelwasser zunächst aufnimmt, deren Sinkstoffe zurückhält und das Wasser der Filtergeschwindigkeit entsprechend in die Cisterne abfliessen lässt, dann können auch die Verteilungskanäle kleinere Querschnitts-Ausmasse erhalten.

Die Aufbewahrung des Wassers zwischen den Körnern des Filtersandes sichert dasselbe vor dem Verderben und zwar um so mehr, je mehr die Sandoberfläche den Wasserspiegel überragt. Diese Filtercisternen sind daher bezüglich der Güte des Wassers den Cisternen ohne Sandfüllung vorzuziehen, verursachen aber wesentlich höhere Anlagekosten, weil die Cisternen für den gleichen Wasserinhalt viel grösser sein müssen. Nimmt man die Porosität des Filtersandes zu 40% an, so muss eine Filtercisterne $2^1/_2$ mal so gross gemacht werden wie eine ohne Sandfüllung. Diese erhebliche Vergrösserung wird dadurch vermieden, dass man das Wasser erst filtriert, wenn es dem Sammelschachte

entnommen wird, zu welchem Zwecke in dem genannten Schachte um das Saugrohr der Pumpe ein Filter eingebaut ist, durch welchen das angesaugte Wasser hindurchfliessen muss.

Cisternen werden nicht nur zur unmittelbaren Sammlung der Niederschläge, sondern auch zur Aufspeicherung der zeitweise überschüssigen Quellwasser, besonders desjenigen der intermittierenden Quellen angelegt; in heissen Ländern sind solche Zeitquellen sehr häufig, welche in der Regenzeit reichlich Wasser liefern, in der lange andauernden regenlosen Zeit aber völlig ausbleiben. Solche Zeitquellen lieferten ihr Wasser in die Cisternen Jerusalems, welche von Salomo angelegt wurden, und teils gemauert sind, teils aus Felsenaushöhlungen bestehen und in ziemlicher Höhe über Jerusalem liegen, und zwar 3 Cisternen in verschiedenen Höhenstufen über einander; der Fassungsraum dieser 3 Sammelbehälter betrug seinerzeit 300 000 cbm. In der Umgebung von Konstantinopel befinden sich eine Anzahl solcher Sammelteiche, die wie die palästinensischen viereckigen Querschnitt haben mit Seitenlängen von 150—250 m. Diese alten byzantinischen Wasserbehälter, von denen nur wenige als offene Teiche, die meisten als überdeckte Cisternen ausgeführt sind, bilden heute noch einen wesentlichen Bestandteil der Wasserversorgung Konstantinopels.

Das Cisternensystem Alexandriens soll der Art entwickelt gewesen sein, dass es durch die unterirdischen Sammelbehälter in ausgedehntem Maasse unterhöhlt war. Die Decke der alexandrinischen Sammelbehälter wurden von Säulen getragen, und die Behälter waren oft in mehreren Geschossen übereinander angeordnet, was auch bei den byzantinischen Cisternen der Fall ist. Die Decken waren hauptsächlich durch Kappengewölbe gebildet, selten durch Kugelgewölbe.

Die Cisternen, welche man in dem antiken Lycien aufgefunden hat, sind runde, mit einer Kuppel überdeckte Becken; das von der Kuppel ablaufende Regenwasser wird in einer gelochten Rinne gesammelt, durch welche es in die Cisterne gelangte. Auch in Griechenland waren die Cisternen in grossem Maasse ausgeführt, häufig in den Felsen der Gebirge, wie z. B. an der abschüssigen Seite des Akropolis in Athen.

Die Thalsperren.

Die einseitige Absperrung eines Thales oder natürlichen Beckens durch eine wasserdichte Wand, um damit die nach diesem Becken zusammenlaufenden Niederschlagswasser anzusammeln, wurde schon von den ältesten Völkern zur Ausnützung des Wassers ausgeführt; das Wasser von Quellen und ihren Bächen, sowie das über die Bodenfläche ablaufende Niederschlagswasser werden auf diese Weise in grossem Massstabe für die Zeiten der Trockenheit aufgespeichert. Diese künstlichen Wasseransammlungen gleichen oft Seen, zwischen sanft geneigten, bewaldeten Berghängen oder zwischen steil aufgerichteten kahlen Felsen gebettet, deren Wasser sich völlig geklärt und gereinigt haben. An der Oberfläche nähert sich die Wassertemperatur derjenigen der atmosphärischen Luft, während sie mit Zunahme der Tiefe unter der Spiegelfläche allmählich derjenigen des Bodens gleich wird. Im Sommer ist demnach das Wasser an der Oberfläche wärmer als in der Tiefe, im Winter bei Frost ist das Verhältnis umgekehrt. Durch diesen immer vorhandenen Temperaturunterschied der Oberfläche und des Grundwassers in einem tiefen Sammelteiche, wird eine ständige Bewegung des Wassers von oben nach unten und umgekehrt vermittelt, und in einer gewissen Tiefe findet man deshalb immer eine Wasserschicht, welche eine für *Wasserversorgungszwecke entsprechende Temperatur* besitzt.

Infolge der oft grossen Ausdehnung der Sammelteiche und ihrer beträchtlichen Tiefe wird deren Wasser durch starken Wind lebhaft erregt, und die Wellen werden bis zu einer Höhe von 2—3 m über dem ruhenden Wasserspiegel gegen die Ufer und die Sperrwand getrieben; die *Wellenbewegung* erstreckt sich bis in eine Tiefe von 6,0 m unter der Oberfläche.

Je grösser ein Sammelbecken im Verhältnis zu dem Wasserzulaufe ist, desto mehr Zeit haben die *verschiedenartigen Zuflüsse*, sich gleichmässig miteinander zu vermischen, sich zu *klären* und zu *reinigen*. Kahle Bodenflächen liefern mit dem Regenwasser mehr Schlamm in den Teich als stark mit Pflanzen bestandene Flächen, ebenso bringen sanft geneigte Flächen reineres

Regenwasser, als steile Abhänge, welche dagegen verhältnismässig mehr Niederschlagswasser dem Teiche zuführen. Wenig geneigte Ufer geben infolge der stets wechselnden Wasserstände des Teiches Veranlassung zu Versumpfungen und damit zur Verunreinigung des Teichwassers; die Reinheit des Wassers wird erhöht durch kalkigen oder kieselsandigen Boden des Teichbettes. Dieser Untergrund muss ferner dem Drucke des Wassers sowohl, als auch demjenigen der darauf errichteten Sperrwand widerstehen und selbst im feuchten Zustande dieser Belastung gegenüber unnachgiebig sein.

Der natürliche Zusammenlauf aller Oberflächenwasser ist immer nach einer Einsenkung des Geländes, nach einem Thale gerichtet, das nach einer Richtung sein Hauptgefälle hat und beiderseits der Thalsohle von Gehängen eingefasst ist, die wieder mannigfaltig gefaltet sein können; zur Bildung eines Sammelteiches genügt daher eine Sperre dieses Thales durch Errichtung einer wasserdichten Wand quer durch das Thal von einem Gehänge zum andern. Der Ort, wo diese Thalsperre zweckmässig zu errichten ist, hängt zunächst ab von der Ausdehnung des Sammelgebietes, dessen Oberflächenwasser zusammengefasst werden sollen; ausserdem wählt man eine Stelle, wo die beiden Thalgehänge einander am nächsten liegen, so dass die Sperrwand von möglichst geringer Länge wird. Je geringer dabei das Gefällverhältnis und je grösser die Breite der Thalsohle auf deren ganzer Ausdehnung ist, desto niedriger darf die Sperrwand werden, um eine bestimmte Wassermenge in dem Thale aufstauen zu können.

Sehr wichtig ist die geognostische Beschaffenheit des Thalgeländes, sowohl in Bezug auf die sichere Gründung der Sperrwand und den wasserdichten Abschluss des Teiches nach allen Seiten, als auch in Bezug auf die Grösse der Wasserzuführung. Die Wasserergiebigkeit eines Sammelgebietes wird wesentlich gesteigert, wenn die Gesteinsschichten der Thalgehänge von beiden Seiten nach dem Thale einfallen und an den dem Thale entgegengesetzten Gehängen ausstreichen, indem in diesem Falle alle in den Gesteinsscheiden der Schichten sich sammelnden Wasser nach

dem Thale in den Sammelteich abfliessen; bei umgekehrter Gefällrichtung der Schichten gelangen diese Schichtenwasser nach entgegengesetzter Richtung in andere Sammelgebiete.

Besteht der Thaluntergrund aus Schwemmland von beträchtlicher Tiefe bis zu einer Gesteinsschicht, so ist zunächst zu prüfen, ob und welche Schichtenlagerung vorhanden ist, ob die Schwemmschichten stark geneigt oder nahezu wagrecht sind, ob darunter nicht thonige Lager sind, die bei der Anfeuchtung schlammig oder fliessend werden, und ob der Untergrund die nötige Tragfähigkeit besitzt.

Bei wenig geneigter oder wagrechter Lagerung des Schwemmlandes und sonst guter Beschaffenheit ist es zweckmässig, als Sperrwand einen Erddamm zu errichten, womit die tiefen Grundmauern für eine Sperrmauer vermieden werden können. Auf steinigem Untergrunde ist immer die Aufführung von Staumauern vorzuziehen; die ungeschichteten Urgesteine geben die sicherste Unterlage für die Gründung, während die Sedimentgesteine wegen ihrer Zerklüftungen und Verwerfungen, sowie wegen ihres Schichtengefälles häufig wenig geeignet sind. Jedenfalls sollen die Gesteinsschichten nahezu wagrecht sein, oder wenn sie stärkeres Gefälle haben, soll dies thalaufwärts gerichtet sein, d. h. die Schichten sollen gegen den Sammelteich einfallen. Das Gestein muss gesund, vor allem frei von Thon- und Mergeleinlagerungen sein, welche bei einer Befeuchtung schlüpfrig werden und ein Gleiten oder Setzen der Mauer verursachen können; auch ist die Grundmauer möglichst auf ein und derselben Gesteinsschicht quer durch den Thalgrund aufzusetzen.

Die Grösse des Sammelgebietes, welches durch eine Thalsperre nutzbar gemacht werden soll, ist bedingt durch den voraussichtlichen Wasserbedarf, welcher häufig ein vielfacher ist, so dass derselbe gar nicht begrenzt wird, sondern überhaupt alles aus einem Sammelgebiet zu erhaltende Wasser zur Verwendung kommt. Der Wasserverbrauch zum Betriebe von Wassermotoren z. B. ist ein unbegrenzter, denn je mehr Wasser geliefert werden kann, desto mehr wird die Leistung der Motoren gesteigert, für welche immer mehr Bedürfnis sich von selbst ergibt. Die Wasser-

menge, welche von einem bestimmten Sammelgebiete erhalten werden kann, ist vor allem von der Oberflächengestaltung des fraglichen Gebietes, von der Kultur desselben und seinen geologischen Verhältnissen abhängig. Jede darüber aufgestellte Berechnung ist ganz unzuverlässig, nur die unmittelbaren, einige Jahre währenden Beobachtungen und Messungen können einen annähernden Wert für diese Wassermenge ergeben. Die offenen Wasserläufe wie die Quellen und Bäche können unmittelbar einer ständigen Messung ihrer Wasserlieferung zu verschiedenen Jahreszeiten unterworfen werden; die über die Bodenflächen nach dem Sammelthale herabrinnenden Niederschlagswasser können am Fusse der Gehänge in Gräben aufgefangen und gemessen werden; ebenso kann die wirkliche Niederschlagshöhe des Sammelgebietes durch Aufstellung von Regenmessern festgestellt und mit der durchschnittlichen Niederschlagshöhe der Gegend verglichen werden, um zu sehen, in welcher Höhe die Messergebnisse unter oder über dem durchschnittlichen Masse liegen.

Die Niederschlagshöhe des Sammelgebietes kann für sich allein noch keinen Massstab geben für die zu erhaltenden Sammelwasser, denn z. B. Quellen und besonders Bäche erhalten häufig ihre Zuflüsse aus andern Niederschlagsgebieten, und ferner ist zu beachten, dass im Walde oft nur die Hälfte der Niederschläge den Boden erreicht, die andere Hälfte verdunstet wieder von dem Gezweige und den Blättern. Ist der Waldboden mit Streudecke, Moos und sonstigen Pflanzen bedeckt, so gelangt selbst von der Hälfte, die den Boden benetzt, nur ein geringer Teil zum Ablauf über die Bodenoberfläche, der grösste Teil wird zur Pflanzenernährung verbraucht und steigt als Wasserdampf wieder in die Atmosphäre. Wiesen, sowie andere mit Kulturen bestandene Bodenflächen halten ebenfalls einen grossen Teil der Niederschläge fest, während auf dem nackten Boden das Wasser rascher Verdunstung ausgesetzt ist, so dass nur von stark geneigten Flächen grössere Niederschlagsmengen über die Oberfläche ablaufen, wenn nicht eine grössere Durchlässigkeit des Bodens noch einen Teil verschluckt. Hierzu kommt noch die Unsicherheit, welche sich aus der Mannigfaltigkeit und dem Wechsel der Niederschläge je

nach den einzelnen Jahrgängen und Jahreszeiten in Bezug auf Häufigkeit und Stärke ergibt, so dass eine Bestimmung der Sammlungen anders als durch unmittelbare Beobachtungen und Messung für den bestimmten Zweck gar nicht möglich erscheint.

Das Wasser, welches in dem Sammelteiche zusammengefasst wird, kann nicht in vollem Masse nutzbar gemacht werden, weil durch Versickerungen und Verdunstungen noch wesentliche Verluste sich ergeben. Der Wasserverlust durch Versickerung wächst mit der Durchlässigkeit des Bettes mit dessen Breite und besonders mit der Wassertiefe; er ist ferner beeinflusst durch die mehr oder weniger sorgfältige Ausführung der Sperrwand. Erddämme ergeben im allgemeinen grössere Sickerungsverluste als Staumauern, und man nimmt gewöhnlich an, dass bei Erddämmen dieser Verlust täglich $= V = {}^1/_3 \, B \, . \, H$ cbm ist, worin B die mittlere Breite des Dammes und H die mittlere Wasserhöhe vor dem Damm bezeichnet.

Die Verluste durch Verdunstung von der freien Wasserfläche ergeben sich aus folgender Gleichung von Dalton:

$$V = 0{,}06 \, . \, z \, . \, F \, (S_1 - S_2) \, \frac{760}{B} \text{ kg in 1 Stunde.}$$

F = Wasseroberfläche, z eine Erfahrungszahl, die je nach dem Grade der Luftbewegung über der Wasserfläche verschieden ist;

S_1 = Höchstspannung des Wasserdampfes bei der Temperatur des zu verdampfenden Wassers in Millimeter Quecksilbersäule;

S_2 = Dampfspannung der über den Wasserspiegel streichenden Luft mit einer bestimmten relativen Feuchtigkeit;

B = Barometerstand in Millimeter Quecksilbersäule.

Der Wert von Z ist:

für ruhige	Luft	z = 0,55
„ mässig bewewegte	„	z = 0,71
„ stark bewegte	„	z = 0,86.

Die Maximalspannungen S_1 des Wasserdampfes für verschiedene Temperaturen sind in nachstehender Tabelle IV angegeben; die Dampfspannung S_2 ergibt sich, wenn man die Werte der Höchstspannung bei gesättigter Luft mit dem Dezimalbruche multipliziert,

Tabelle IV.

Höchstspannung des Wasserdampfes für verschiedene Temperaturen.

Temperatur des Wasserdampfes in Celsiusgraden.											
− 20°	− 18°	− 15°	− 12°	− 10°	− 8°	− 5°	− 3°	± 0°	+ 2°	+ 4°	+ 5°
Dampfspannung in Millimeter Quecksilbersäule.											
0,927	1,100	1,400	1,780	2,093	2,455	3,113	3,644	4,600	5,302	6,097	6,534
+ 6°	+ 8°	+ 10°	+ 12°	+ 14°	+ 15°	+ 16°	+ 18°	+ 20°	+ 22°	+ 24°	+ 25°
6,988	8,017	9,165	10,457	11,908	12,699	13,536	15,357	17,391	19,659	22,184	23,550
+ 26°	+ 28°	+ 30°	+ 32°	+ 33°	+ 34°	+ 35°	+ 36°	+ 37°	+ 38°	+ 39°	+ 40°
24,988	28,101	31,548	35,359	37,411	39,565	41,827	44,201	46,691	49,302	52,039	54,906

welcher die Grösse der relativen Feuchtigkeit der Luft ausdrückt; z. B. die relative Feuchtigkeit betrage 80 %, so ist $S_2 = S_1 \cdot 0{,}80$.

Für mässig bewegte Luft bei einer Temperatur von + 10° C. und einem Barometerstande von 750 mm mit 60 % relativer Feuchtigkeit der Luft, erhält man danach eine stündliche Verdunstung von 1,0 qm Wasserspiegel

$$V = 0{,}06 \cdot 0{,}71 \cdot 1{,}0\,(9{,}165 - 9{,}665 \cdot 0{,}60) \cdot \frac{760}{750}$$

$$V = 0{,}158 \text{ kg in der Stunde oder}$$

$$V = 3{,}79 \text{ kg täglich von 1 qm und}$$

jährlich 1380 kg auf 1 qm oder eine Verdunstungshöhe von 1380 mm.

Lueger nimmt für die trockene Zeit eine mittlere Verdunstungshöhe von 4—10 mm täglich, je nach dem Klima, an; nach anderen Beobachtungen wurde für die gemässigte Zone mit einer jährlichen Durchschnittstemperatur von 10° C. die jährliche Verdunstunghöhe der freien Wasserfläche mit 900 mm gefunden. Bei einer Wärme von + 25° C. würde die tägliche Verdunstungshöhe 10 mm betragen, wonach sich für jeden Hektar Spiegelfläche des Sammelteiches ein täglicher Wasserverlust von 100 cbm ergibt. Da aber gerade im Sommer die Zuflüsse in den Sammelteich am geringsten

sind, so macht sich der Verdunstungsverlust um so mehr fühlbar. Ausserdem ist noch zu berücksichtigen, dass ein sehr beträchtlicher Teil der Zuflüsse bei Hochwasserständen durch Überlauf sofort thalwärts gefördert wird, also gar nicht zur Bereicherung des Wasserinhaltes der Becken beiträgt; die Überlaufmenge ist wesentlich auch durch die Regelung des Wasserverbrauches beeinflusst, indem man durch stärkere Benützung der angesammelten Wasser zu den Zeiten der grössten Zuflüsse, den Wasserstand tief genug hält, dass ein Überlauf selbst bei grossen Zuflüssen nicht eintreten kann. Die Bestimmung der durch einen Stauweiher nutzbar zu machenden Wassermenge ist nach dem Vorhergehenden sehr schwierig und jedenfalls nur von Fall zu Fall unter Berücksichtigung aller örtlichen Verhältnisse annäherungsweise zu ermöglichen.

Herstellung der Sperre durch einen Erddamm.

Erddämme werden, wie schon erwähnt, nur aufgeführt, wenn feste Gesteinsschichten zur sicheren Gründung einer Mauer erst in grosser Tiefe unter der Oberfläche mit grossen Kosten zu erreichen sind; Dämme sind in feuchtem Klima am haltbarsten, während sie bei anhaltender Trockene rissig werden können. Auch soll ihre Höhe nicht über 30 m betragen, weil mit dem erhöhten Wasserdruck die Durchlässigkeit der Dammerde zunimmt. Als Dammerde eignet sich am besten eine Mischung aus etwa $^2/_5$ Thon und $^3/_5$ Sand; denn eine stärker thonhaltige Erde wird in der Trockenheit rissig und eine zu sandige Erde ist sehr durchlässig, wenn sie nicht so viel Thon enthält, dass die einzelnen Kies- oder Sandkörner damit völlig umhüllt sind. Der Dammerde kann man eine erhöhte Dichtigkeit geben, wenn man die schichtenweisen Bodenaufträge unter Stampfen mit Kalkmilch begiesst oder zwischen das feuchte Schüttungsmaterial Kalkpulver streut.

Als Böschungsanlage nimmt man im allgemeinen für die Wasserseite das Verhältnis der Höhe zur Breite wie $1:2^1/_2$ bis $1:3$ und auf der Trockenseite wie $1:2$ bis $1:2^1/_2$; die wasserseitige Böschung macht man deshalb weniger steil, weil die Dammerde in Berührung mit Wasser gelockert werden kann. Aus demselben

Grunde empfiehlt es sich auch, die wasserseitige Böschung abzupflastern. In der Mitte des Dammkörpers wird eine Wand aus gut durchgearbeitetem Thon aufgeführt, ausgehend vom festen, undurchlässigen Grunde. Diese Thonwand soll in der Höhe des höchsten Wasserstandes noch eine Dicke von 3,0 m haben und sich nach unten mit einem Anlaufverhältnis von 1 : 10 verbreitern; zur Bekämpfung der Würmer, welche mit ihren Gängen die Dämme durchbohren, ist es zweckmässig, den Thon mit kleinen Steinen oder Kokstücken zu vermengen. Organische Stoffe dürfen der Dammerde nicht beigemengt sein, und besonders muss die Bodenfläche, über welcher der Damm errichtet werden soll, von allen Pflanzenteilen und dem Mutterboden gereinigt werden; der natürliche Boden ist vor der ersten Schüttung umzupflügen, damit die Aufschüttung sich innig damit verbinden kann. Die Dammerde ist möglichst trocken und locker aufzuschütten und zu verteilen, sodann erst anzufeuchten und schichtenweise zu stampfen. Um einen möglichst festen Zusammenschluss der Dammerde mit der Thonwand zu erreichen, gibt man der lageweisen Schüttung ein wenig Steigung gegen die Thonwand und verwendet den thonreicheren Boden hauptsächlich zum Anschluss an die Thonwand.

Der Dammkrone gibt man in der Regel eine Breite von $B = 3{,}00 + 0{,}3\,(H - 3)$, vorausgesetzt, dass $H > 3$ ist; H ist die Höhe des Dammes. Erhält der Damm dabei Böschungen mit $2^1/_2$ bis 3 maliger Anlage, so hat er reichliche Standfestigkeit und bedarf es dann zur Untersuchung derselben keiner statischen Berechnung, welche doch unmöglich alle wirkenden Faktoren in richtigem Masse berücksichtigen kann.

Unter allen Umständen muss vermieden werden, den Erddamm durch irgendwelches Mauerwerk zu unterbrechen, weil die Dammerde mit dem Mauerwerk nie dicht zusammenschliesst, so dass zwischen den Berührungsflächen der beiden sich Wasserwege bilden können, die den wasserdichten Abschluss durch den Damm fraglich machen.

Die Entnahme von Anschüttungserde aus dem Sammelbecken selbst darf nur unter grösster Vorsicht geschehen;

durch den Aushub einer grossen Bodenmasse aus dem Becken, wird allerdings dessen Fassungsraum erweitert, aber es ist dabei zu berücksichtigen, ob durch die Entfernung der lehmigen Bodendecke nicht eine durchlässige Bodenschicht blossgelegt wird.

Die ausgedehnteste Verwendung, besonders zur Bewässerung des Landes, haben diese Art Sammelteiche in Indien gefunden; in der Präsidentschaft Madras allein sind über 4000 solcher Stauweiher mit Erddämmen vorhanden, wovon einzelne von sehr grosser Ausdehnung sind.

Diese grossartigen Sammelanlagen verdanken ihren Ursprung den Bedürfnissen des Volkes und der grossen Veränderlichkeit der Witterungsverhältnisse. In Indien wiederholen sich in einzelnen Landgebieten fast alle fünf Jahre die trockenen, regenarmen Jahrgänge, weshalb man jede Schlucht, ob gross oder klein, benutzt, um durch Vorlage von Dämmen das Niederschlagswasser darin anzusammeln.

Der alte Poniary-Teich, der jetzt wegen der grossen Unterhaltungskosten nicht mehr benutzt wird, hat einen Damm von etwa 45 km Länge; der noch in Benutzung stehende Veranum-Teich besitzt eine Spiegelfläche von rund 80 qkm mit einer Dammlänge von 20 km. Auf der Insel Ceylon befindet sich ein Sperrdamm von 26 km Länge. Eine der Neuzeit angehörige Thalsperre Indiens ist die von Ashti, welche ebenfalls Bewässerungszwecken dient; sie hat ein Fassungsvermögen von 40 Millionen Kubikmeter bei einer Spiegelfläche von 11 qkm oder 1100 ha und einer Stauhöhe von 14 m. Das Niederschlagsgebiet dieses Sammelteiches beträgt etwa 24 000 ha und liefert ungefähr den sechsten Teil des Jahresniederschlages in den Sammelbehälter, wovon 6 Millionen Kubikmeter, der siebente Teil, durch Verdunstung und Versickerung wieder verloren gehen.

Der Damm des Dale-Dyke-Beckens bei Sheffield, welcher vom Wasser durchbrochen wurde, war 30 m hoch, bei einer Kronenbreite von 4,0 m und $2^1/_2$ maliger Böschung; der Lehmkern seines Innern war unten 5,0 m oben $1^1/_3$ m stark. Die Ursache des Bruches von Erddämmen ist in der Regel in mangelhafter Unterhaltung derselben zu suchen. Eine Verschiebung des Dammkörpers,

ein Abrutschen ist nicht denkbar, wenn der Horizontaldruck des Wassers auf den Damm kleiner ist als das Gewicht des Dammes vermehrt noch um den Vertikaldruck des Wassers, was bei den Dammanlagen mit ihren grossen Querschnittsmassen immer reichlich der Fall ist. Erdrutsche verhalten sich in mancher Beziehung ähnlich wie das Gleiten eines Dammkörpers, sind jedoch mit andern Nebenumständen verbunden. Die Erdrutsche finden entweder statt, wenn eine Erdmasse unter reichlichem Wasserzuflusse, welcher die Gleitfläche schlüpfrig macht und erhält, auf einer geneigten Gesteinsschicht aufruht, oder sie entstehen dadurch, dass das Erdreich eine Böschungsneigung angenommen hat, welche seine natürliche überschreitet; es sind dies alles Voraussetzungen, welche bei einer guten Dammanlage nicht vorkommen dürfen.

Die Sperrmauern.

Mauerwerk bietet überall da, wo in nicht zu grosser Tiefe unter der Thalsohle ein sicherer, tragfähiger Baugrund vorhanden ist, die meiste Sicherheit und verursacht die geringsten Unterhaltungskosten. Als Bausteine werden gewöhnlich Bruchsteine in derben Stücken und in Cyklopenverband verwendet; Quadermauerwerk gewöhnlich nur als Verkleidung. Cyklopenverband ist deshalb zu wählen, weil wegen des unregelmässigen Verlaufes der Fugen hier keine durchgehenden Fugenrisse vorkommen können, wie dies bei dem regelmässigen Verbande mit senkrechten und wagrechten Fugen möglich ist. Selbstverständlich sind nur gesunde, möglichst wasserdichte, schwere Gesteinsarten zu verwenden und zum Fugenschluss wasserdichter Zementmörtel. Die einzelnen Bausteine müssen mit ihren Nachbarsteinen derart zusammenschliesssen, dass zwischen ihnen keine grösseren Hohlräume bleiben, die mit Bruchstücken ausgefüllt werden müssten. Die Mauerstärken sind vor allem derart zu wählen, dass mit Rücksicht auf das hohe Mass von Sicherheit, welche eine Staumauer bieten muss, keine zu hohe Inanspruchnahme stattfindet. Bei ausgeführten Mauern kommen Pressungen des Mauerwerks bis 15 kg auf 1 qcm vor; eine so weit gehende Belastung ist jedoch nicht ratsam, wenn man

sich die grosse Verantwortung vergegenwärtigt, welche die Bruchgefahr auferlegt. Ausser den Mauerstärken ist auch die Form des auf die Längsachse senkrechten Mauerquerschnittes von wesentlicher Bedeutung für die Widerstandsfähigkeit der Mauer, indem je nach der wasserseitigen und thalseitigen Begrenzungslinie dieses Querschnittes der Druck des Mauerwerkes und des Wassers eine mehr oder weniger zweckmässige Verteilung erhält. In jedem wagrechten Querschnitt der Mauer für verschiedene Wassertiefen darf der Schnittpunkt der aus dem Mauer- und Wasserdruck resultierenden Druckrichtung mit dieser Schnittfläche nicht über das erste Drittel derselben, von der thalseitigen Kante ausgehend, hinausfallen; ebenso darf auch der Schnittpunkt des senkrechten Mauer- und Wasserdruckes nicht in das erste Drittel, von der wasserseitigen Kante ausgehend, rücken, um eine Inanspruchnahme der Mauer durch Zugspannungen zu vermeiden. Ferner muss die Mauer in jeder Wassertiefe stark genug sein, um dem Seitenschub des wagrechten Wasserdruckes widerstehen zu können, und ein Umkippen um die thalseitige Kante, das durch die Wirkung des Wasserauftriebes in einem Mauerrisse, in Verbindung mit dem wagrechten Wasserdrucke bewirkt werden könnte, unmöglich zu machen.

Zur Bestimmung des für eine bestimmte Wassertiefe zweckmässigsten Mauerquerschnittes gibt es verschiedene theoretische und empirische Verfahren, die aber alle sehr umständlich und dabei erst durch mehrmalige Wiederholung des Annäherungsverfahrens, wie z. B. bei dem graphostatischen Verfahren, ein angenähertes Ergebnis liefern. Ich habe daher auf dem nachfolgend entwickelten Wege die Konstruktion des fraglichen Mauerquerschnittes durch ein rechnerisches Verfahren bestimmt, welches bequem und sicher Stärke und Form der Mauer zahlenmässig ergibt. Mit Rücksicht auf die grosse Sicherheit, welche bei Staumauern vorausgesetzt werden muss, habe ich die Entwickelung der Formeln, welche als Grundlage für die Konstruktion von Staumauern dienen können, etwas ausführlich behandelt, so dass der Leser dem Gedankengang dabei ununterbrochen folgen kann.

Die nachstehende Skizze (Fig. 58) ist die Darstellung eines beliebigen Mauerquerschnittes; ABCD bezeichnet den Querschnitt einer Staumauer und AB deren wagrechte Grundlinie, sowie MK die Senkrechte durch den Schwerpunkt dieses Querschnittes; MS bezeichnet zugleich das Mass des senkrecht auf die Grundfläche wirkenden Wasser- und Mauerdruckes, der zusammen mit M benannt wird. Ist die wasserseitige Mauerfläche senkrecht, dann ist

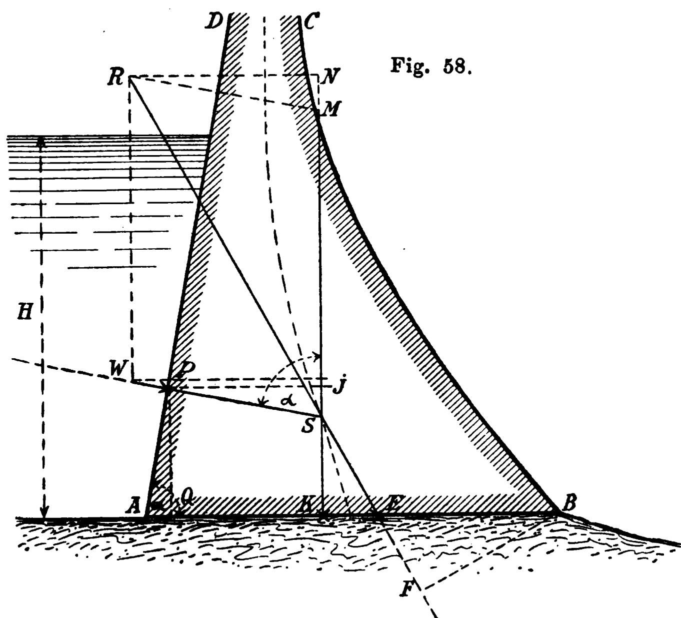


Fig. 58.

der senkrechte Wasserdruck auf die Grundfläche AB gleich Null und M besteht nur aus dem Mauergewicht G. Die Linie WS stellt den auf die Mauerfläche AD senkrecht wirkenden Wasserdruck W nach Richtung und Mass dar. Der Angriffspunkt des Wasserdruckes W liegt in $^2/_3$ der Wassertiefe H oder $^1/_3$ H über der Mauerkante A. In dem Punkte S vereinigen sich beide Kraftrichtungen MS und WS zur Mittelkraft RS, deren Richtungslinie die Grundlinie AB in dem Punkte E schneidet, während der Schnittpunkt des senkrechten Mauer- und Wasserdruckes in K liegt.

Die Mittelkraft R wirkt an dem Hebelarme BF auf die Kante B, wo sie eine Pressung erzeugt, deren Mass durch das Kraftmoment R . BF bestimmt ist.

An der wasserseitigen Kante A wird bei wassergefülltem Staubecken durch die senkrechten Belastungen M eine Pressung erzeugt, die gleich M . AK ist. Jede dieser Pressungen darf die höchste zulässige Belastung des Mauerwerkes auf 1 qm Fläche, die mit p bezeichnet wird, nicht überschreiten, und ausserdem müssen beide Kantenpressungen gleich gross sein, damit keine Zugspannungen im Mauerwerk entstehen. Damit ergibt sich folgende Grundgleichung:

$$31)\quad R \,.\, BF = M \,.\, AK.$$

Die geometrischen Beziehungen ergeben nur folgende Verhältnisse:

$$BF : BE = (SM + MN) : SR$$

$$BF = \frac{BE \,.\, (M + MN)}{R}, \text{ woraus folgt}$$

$$M \,.\, AK = BE\,(M + MN)$$

$$MN = \cos\alpha \,.\, RM = \cos\alpha \,.\, W \text{ und deshalb}$$

$$32)\quad M \,.\, AK = BE\,(M + \cos\alpha \,.\, W) \text{ und } BE = \frac{M \,.\, AK}{M + \cos\alpha \,.\, W}.$$

Zur Bestimmung von BE dienen folgende geometrische Verhältnisse:

$$KE : KS = RN : NS; \; EK = \frac{KS \,.\, RN}{NS}.$$

$$KS = PQ - JS = {}^1/_3\, H - JS \text{ und}$$

$$RN = \sin\alpha \,.\, RM = \sin\alpha \,.\, W, \text{ ferner}$$

$$NS = M + NM = M + \cos\alpha \,.\, W, \text{ so dass nun}$$

$$EK = \frac{({}^1/_3\, H - JS) \,.\, \sin\alpha \,.\, W}{M + \cos\alpha \,.\, W}.$$

Drückt man M durch ein Vielfaches von W aus, nämlich M = n . W, so wird

$$EK = \frac{({}^1/_3 \,.\, H - JS) \,.\, \sin\alpha}{n + \cos\alpha}.$$

Weiter hat man $JS = \frac{PJ}{tg\,\alpha} = \frac{KQ}{tg\,\alpha}$ und

$KQ = AK - AQ$, sowie $AQ = \frac{H}{3\,.\,tg\,\alpha}$

$KQ = AK - \frac{H}{3\,.\,tg\,\alpha}$ und $JS = \frac{3\,tg\,\alpha\,.\,AK - H}{3\,(tg\,\alpha)^2}$

und damit erhält man:

$$33)\quad EK = \frac{1}{n + \cos\alpha}\left[\frac{H}{3\,.\,\sin\alpha} - \cos\alpha\,.\,AK\right].$$

Bezeichnet man den höchsten zulässigen Druck auf 1 qm Grundfläche der Mauer mit p, mit B = AB die Breite oder Stärke der Mauer, so ist für eine Länge von 1,0 m der Gesamtdruck auf die Grundfläche

$$M = p\,.\,B = n\,.\,W, \text{ und } B = \frac{n\,.\,W}{p};$$

daraus erhält man nun für

$$32)\quad BE = \frac{M\,.\,AK}{M + \cos\,.\,W} = \frac{n\,.\,AK}{n + \cos\alpha}$$

$$33)\quad EK = \frac{1}{n + \cos\alpha}\left[\frac{H}{3\,.\,\sin\alpha} - \cos\alpha\,.\,AK\right]$$

$$34)\quad AK = \frac{W\,.\,(n + \cos\alpha)}{2p} - \frac{H}{6\,.\,n\,.\,\sin\alpha}$$

$$35)\quad BE = \frac{n\,.\,W}{2p} - \frac{H}{6\,.\,\sin\alpha\,.\,(n + \cos\alpha)}$$

$$36)\quad EK = \frac{(2n + \cos\alpha)\,.\,H}{6\,.\,n\,.\,\sin\alpha\,.\,(n + \cos\alpha)}$$

$$37)\quad B = \frac{n\,.\,W}{p}.$$

Der auf die Mauerfläche AD senkrechte Wasserdruck W ist für die Mauerlänge von 1,0 m

$$W = H\,.\,\frac{H}{2} = \frac{H^2}{2};$$

Durch Einführung dieses Wertes von W in obige Gleichungen erhält man:

$$34a)\quad AK = \frac{H^2}{4p}(n + \cos\alpha) - \frac{H}{6 \sin\alpha . n}$$

$$35a)\quad BE = \frac{H^2}{4p} . n - \frac{H}{6 . \sin\alpha . (n + \cos\alpha)}$$

$$36a)\quad EK = \frac{H . (2n + \cos\alpha)}{6 . \sin\alpha . n (n + \cos\alpha)} - \frac{H^2 . \cos\alpha}{4p}$$

$$37a)\quad B = \frac{n . H^2}{2p}.$$

Nimmt man weiter an, dass der Abschnitt BE auf der Grundlinie gleich einem Vielfachen derselben sei, nämlich $BE = m . B$ oder $BE = m . \frac{n . H^2}{2p}$, so ist

$$34a)\quad AK = \frac{m (n + \cos\alpha) H^2}{2p};$$

$$35a)\quad BE = \frac{m . n . H^2}{2p};$$

$$36)\quad EK = \frac{H^2}{2p}[n(1-m) - m(n + \cos\alpha)] \text{ und}$$

$$38)\quad n = \sqrt{\frac{(\cos\alpha)^2}{4} + \frac{2p}{3 . \sin\alpha . H . (1-2 . m)}} - \frac{\cos\alpha}{2}.$$

Das Verhältnis des vertikalen Mauerdruckes M zum Wasserdrucke W ist durch die Gleichung 38 ausgedrückt und für gewisse Grenzwerte von m und p nur von der Wassertiefe H abhängig und dem Winkel α.

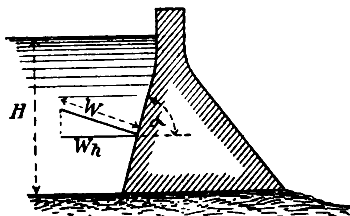


Fig. 59.

Für die Sicherheit der Mauer ist ferner zu berücksichtigen, dass das Gewicht der Mauer für sich allein grösser sein muss, als der in bestimmter Tiefe vorhandene wagrechte Wasserdruck auf die Mauer, der als Seitenschub auf diese wirkt (siehe Fig. 59).

Der wagrechte Wasserdruck W_h ergibt sich aus dem auf die Mauer senkrechten Wasserdrucke W durch die Gleichung $W_h = \sin\alpha . W$.

Damit durch den Druck W_h ein Gleiten der Mauer nicht bewirkt werden kann, soll W_h höchstens $^2/_3$ M sein, also

$$M = {}^3/_2 \, . \, W \, . \, \sin \alpha = {}^3/_2 \, . \, \sin \alpha \, . \, \frac{H^2}{2} = \frac{n \, . \, H^2}{2}, \text{ daher}$$

$$n = {}^3/_2 \, . \, \sin \alpha.$$

Ferner muss die Mauer auch gegen das Umkippen durch den Auftrieb des in einen Mauerriss eindringenden Wassers in Verbindung mit dem wagrechten Wasserdrucke widerstandsfähig sein (s. Fig. 60).

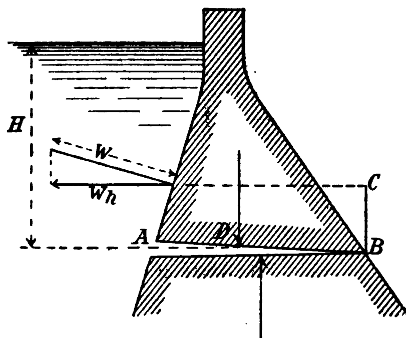


Fig. 60.

Der Auftrieb des Wassers ist am wirksamsten, wenn der Riss AB fast durch die ganze Mauerstärke sich erstreckt; in diesem Falle liegt sein Angriffspunkt in der Mitte von AB, und der Wasserdruck beträgt für 1 m Länge der Mauer auf deren Grundfläche = H . AB, und es wirkt derselbe an dem Hebelarme $\frac{AB}{2}$ mit dem Kraftmoment $\frac{H \, . \, AB^2}{2}$.

Der horizontale Wasserdruck $W_h = \sin \alpha \, . \, W$ wirkt an dem Hebelarme BC = $^1/_3$ H, und sein Kraftmoment ist $\frac{\sin \alpha \, . \, H^3}{6}$.

Diesem Kräftepaare wirkt der senkrechte Druck $M = \frac{n H^2}{2}$ mit dem Hebelarme DB entgegen, also mit dem Kraftmoment $\frac{n \, . \, H^2}{2} \, . \, DB$.

Der Punkt D ist der Schnittpunkt der Druckrichtung von M mit der Grundlinie AB, und die Länge BD ist daher gleich der Summe der beiden Abstände BE + EK in Fig. 58 (Seite 223).

Der Gleichgewichtszustand zwischen den oben angeführten drei Kraftmomenten findet seinen Ausdruck durch die Gleichung:

$$M \, . \, (EK + BE) = \frac{H}{2} \, . \, B^2 + \frac{\sin \alpha \, . \, H^3}{6}.$$

Nach Gleichung 35a und 36a ist die Summe

$$(BE + EK) = B \cdot \left[1 - m \cdot \frac{n + \cos\alpha}{n}\right],$$

woraus man erhält:

$$B \cdot M \cdot \left(1 - m \cdot \frac{n + \cos\alpha}{n}\right) = \frac{H}{2} \cdot B^2 + \frac{\sin\alpha \cdot H^3}{6}.$$

Durch die Auflösung der letzten Gleichung mit Bezug auf n erhält man:

$$39)\quad n = \frac{m \cdot \cos\alpha}{2\left(1 - m - \frac{H}{2p}\right)} + \sqrt{\frac{3 \cdot H \cdot m^2 \cdot (\cos\alpha)^2 + 8 \cdot \sin\alpha \cdot p \cdot \left(1 - m - \frac{H}{2p}\right)}{12 \cdot H \cdot \left(1 - m - \frac{H}{2p}\right)^2}}$$

Für den Fall, dass $\alpha = 90^0$ wird,

$$\text{ist } 38a)\quad n = \sqrt{\frac{2p}{3 \cdot H \cdot (1 - 2m}} \text{ und}$$

$$39a)\quad n = \sqrt{\frac{2 \cdot p}{3 \cdot H \cdot \left(1 - m - \frac{H}{2p}\right)}}.$$

Wenn $\alpha = 90^0$ ist, erreicht n seinen grössten Wert, und es genügt daher zunächst, diesen Wert von n zu berechnen, um allen Ansprüchen bezüglich der Sicherheit gerecht zu werden.

Stellt man die beiden Werte von n aus Gleichung 38a und 39a in einer Gleichung einander gegenüber, so erhält man damit die Beziehungen zwischen H, p und m, welche aus den obigen Voraussetzungen hervorgehen. Werden diese so bestimmten Beziehungen im ganzen Querschnitt einer Mauer möglichst eingehalten, so ist deren Widerstandsfähigkeit gegen alle mechanischen Angriffe völlig ausreichend. Danach erhält man folgende neue Gleichung:

$$\sqrt{\frac{2p}{3 \cdot H\left(1 - m - \frac{H}{2p}\right)}} = \sqrt{\frac{2p}{3 \cdot H\,(1 - 2m)}} \text{ oder}$$

$$1 - 2m = 1 - m - \frac{H}{2p}, \text{ woraus}$$

40) $H = 2\,pm$; und $p = \frac{H}{2m}$, sowie $m = \frac{H}{2p}$.

41) $B = n \,.\, m \,.\, H$.

42) $n = \sqrt{\frac{1}{3m \,.\, (1-2m)}}$.

Der Wert von p wächst selbstverständlich mit zunehmender Tiefe und ist gleich dem Quotienten $\frac{H}{2m}$, und weil m für ein und denselben Mauerquerschnitt gleich gross sein soll, so verhalten sich die verschiedenen Werte von p zu einander wie die entsprechenden Wassertiefen. Der Wert von n ist unabhängig von H und p und lediglich durch m bestimmt; n ist ebenso wie m für ein und denselben Querschnitt gleich gross, und der Wert von B ist proportional der Wassertiefe H, denn das Produkt m . n ist für ein und denselben Querschnitt unveränderlich.

Das obere Ende der Mauer, die sogenannte Mauerkrone, erhält mit Rücksicht auf den Wellenschlag und auf die Länge der Mauer eine bestimmte Stärke, die mit b_0 bezeichnet werden soll; auch überragt die Krone den gewöhnlichen höchsten Wasserstand um eine gewisse Höhe h_0. In der Mauerkrone und zunächst unter derselben ist danach das Mauergewicht Q immer grösser als der auf die Mauerfläche senkrecht wirkende Wasserdruck $n \,.\, W \,. = \frac{n \,.\, H^2}{2} = M$; mit zunehmender Tiefe H ändert sich jedoch dies Verhältnis. Im Mauerquerschnitt kann man folgende drei Hauptteile unterscheiden:

1. die über den höchsten Wasserstand sich erhebende Mauerkrone von der Stärke b_0 und dem Gewichte G_0;

2. den an die Krone anschliessenden rechteckigen Teil, der bis zur Tiefe h_1 reicht, wo die Mauerstärke b_0, die auch $= b_1$ ist, den Wert $m \,.\, n \,.\, h_1$ erreicht; h_1 ist in diesem Falle $\frac{b_0}{m \,.\, n}$;

3. den unteren trapezähnlichen Teil, dessen Mauerstärke in jeder Tiefe H_n immer $= B_n = m \,.\, n \,.\, H_n$ ist.

Das Gesamtmauergewicht bis zu irgend einer Tiefe H_n setzt sich demnach zusammen aus dem Gewichte G_0 der Krone, aus dem Gewichte G_1 des rechteckigen zweiten Teiles und aus dem Gewichte G_n des unteren trapezähnlichen Teiles. Das Gewicht der oberen Mauerkrone ist besonders zu berechnen, da dieselbe mit Rücksicht auf die besonderen Zwecke, welchen sie zu dienen hat, gewöhnlich eine besondere Bauweise zeigt. Das Gewicht G_1 des rechteckigen Teiles ist für ein spezifisches Gewicht des Mauerwerkes $= \gamma$ bestimmt durch: $G_1 = \gamma \,.\, b_1 h_1 = \gamma \,.\, m \,.\, n\, h_1^2$ und

$$G_n \text{ ist } = \gamma \,.\, {}^1/_2 \,.\, [b_1 + B_n]\,[H_n - h_1]$$
$$= \gamma \,.\, {}^1/_2 \,.\, m \,.\, n\,[H_n^2 - h_1^2].$$

Das Gesamtgewicht ist danach:

$$G = G_0 + \gamma \,.\, m \,.\, n \,.\, h_1^2 + {}^1/_2\, \gamma \,.\, m \,.\, n \,.\, [H_n^2 - h_1^2].$$

$$43) \quad = G_0 + {}^1/_2\, \gamma \,.\, m \,.\, n\,(H_n^2 + h_1^2).$$

$M = \dfrac{n \,.\, H_n^2}{2}$ und demnach

$$\frac{G}{M} = \frac{2 \,.\, [G_0 + {}^1/_2\, \gamma \,.\, m \,.\, n \,.\, (H_n^2 + h_1^2)]}{n \,.\, H_n^2}.$$

G wird gleich M, wenn

$n \,.\, H_n^2 = 2\,[G_0 + {}^1/_2\, \gamma \,.\, m \,.\, n \,.\, (H_n^2 + h_1^2)]$, woraus

$$n \,.\, H_n^2\,(1 - m \,.\, \gamma) = 2\, G_0 + \gamma \,.\, m \,.\, n \,.\, h_1^2.$$

$$44) \quad H_n = \sqrt{\frac{2\, G_0 + \gamma \,.\, m \,.\, n \,.\, h_1^2}{n \,.\, (1 - m\,\gamma)}} = \sqrt{\frac{2\, G_0 + G_1}{n\,(1 - m \,.\, \gamma)}}.$$

Die Tiefe H_n erhält also nur einen positiven Wert, wenn $(1 - m\,\gamma)$ positiv ist, d. h. $< 1{,}0$. Je grösser $m \,.\, \gamma$ wird, desto grösser fällt das Mauergewicht G aus und umgekehrt; mit Rücksicht auf Erzielung möglichst geringer Baukosten ist daher $m\,\gamma$ aufs kleinste Mass zu bringen, jedenfalls soll dasselbe immer $m\,\gamma < 1{,}0$ sein.

Der Wert von m darf nicht *unter* ${}^1/_3$ sein, und weil das spezifische Gewicht γ gewöhnlich 2,0 beträgt, so kann der Wert von m auch nur zwischen ${}^1/_3$—${}^1/_2$ sich bewegen, je nachdem γ grösser oder kleiner ist.

Der obere Teil der Mauer erhält nach der Wasserseite eine senkrechte Mauerfläche bis zu der Tiefe H_n, wo das Mauergewicht G gleich $M = \frac{n \cdot H_n^2}{2}$ ist.

Von der Tiefe H_n abwärts wird $G < M$, und der Fehlbetrag $M - G$ ist durch entsprechende Neigung der wasserseitigen Mauerfläche unterhalb H_n auszugleichen. Der Neigungswinkel a muss so gross sein, dass der senkrechte Wasserdruck W_s auf die Horizontalprojektion des geneigten Mauerteiles ist:

$$W_s = M - G.$$

Die genannte Horizontalprojektion AA_1 ist $AA_1 = \frac{H - H_n}{tg\ \alpha}$, worin H die Wassertiefe bis zur Sohle des in Betracht kommenden Teiles der Mauer bezeichnet. Demnach ist

$$45)\quad W_s = H \cdot AA_1 = \frac{H \cdot (H - H_n)}{tg\ \alpha} \text{ und}$$

$$tg\ \alpha = \frac{H \cdot (H - H_n)}{W_s} = \frac{H \cdot (H - H_n)}{M - G}.$$

Nach Gleichung 43 ist:

$$W_s = M - G = \frac{n \cdot H_n^2}{2} (1 - m \cdot \gamma) - (G_0 + {}^1/_2\ m \cdot n \cdot \gamma \cdot h_1^2).$$

Je kleiner demnach $m \cdot \gamma$ sowie das Gewicht des oberen Mauerteiles von der Krone bis zur Tiefe h_1 ist, desto grösser fällt W_s aus und damit auch AA_1 und der Winkel α wird entsprechend kleiner. Je grösser aber die Horizontalprojektion AA_1 der geneigten Mauerfläche wird, desto weniger Aufwand an Mauermasse ist erforderlich, damit $G + W_s = n \cdot H_n^2$ wird.

Bezüglich der Höhe der Baukosten erhält man daher den günstigsten Mauerquerschnitt, wenn der Wert von m möglichst nahezu $= {}^1/_3$ und das spezifische Gewicht des Mauerwerks nicht sehr gross ist, sowie, wenn die für die Mauerkrone angenommene Stärke $= b_0$ und h_0 möglichst klein gewählt wird.

Für m darf man als unterste Grenze den Wert von 0,35 annehmen; die Grösse des spezifischen Gewichtes γ schwankt im

allgemeinen zwischen 2,0 und 2,5, und dementsprechend sind die Mindestwerte von $m \cdot \gamma$ zwischen 0,70 bis 0,875.

Ein $m = 0{,}40$ ist nur für ein γ bis zur Grösse von 2,25 anwendbar; mit $\gamma = 2{,}5$ würde $m \cdot \gamma = 1{,}0$ und $(1 - m \cdot \gamma) = 0$ werden. Ein $m = 0{,}45$ ist nur für γ bis 2,0 zu verwenden.

Die Grösse von γ ist gewöhnlich von örtlichen Verhältnissen, d. h. von dem verfügbaren Baumateriale abhängig und ist wegen seiner grossen Bedeutung für die Bildung des Mauerquerschnittes durch Abwiegen von Probemauerstücken festzustellen.

Die Höhe h_0 der Mauerkrone über dem höchsten Wasserstande beträgt gewöhnlich 3, bis 54,0 m; bei Tiefen über 30 m macht man $h_0 = 3{,}5 + 0{,}1\,H$. Die Mauerstärke b_0 der Krone ist gewöhnlich 3,5 bis 5,0 m, wenn nicht besondere Zwecke, welchen die Krone dienen soll, eine grössere Breite derselben nötig machen; das Gewicht G_0 der Mauerkrone kann deshalb von sehr verschiedener Grösse sein. Im allgemeinen ist anzunehmen, dass $h_0 = b_0$ und dass das spezifische Gewicht der Mauerkrone gleich demjenigen der übrigen Mauer $= \gamma$ ist; G_0 wird in diesem Falle $= \gamma \cdot b_0^2$ für 1,0 m Länge der Mauer. Das Gewicht G_1 des Mauerteiles vom höchsten Wasserstande bis zur Tiefe $h_1 = \frac{b_0}{m \cdot n}$ ist $G_1 = \frac{\gamma \cdot b_0^2}{m \cdot n}$. Mittels dieser Ausdrücke erhält man die Tiefe H_n, wo das Mauergewicht $G_n = \frac{n \cdot H_n^2}{2}$ ist (nämlich nach 44).

$$44a)\quad H_n = \sqrt{\frac{2\,G_0 + G_1}{n\,(1 - m \cdot \gamma)}} = \frac{b_0}{n}\sqrt{\frac{\gamma\,(2\,m \cdot n + 1)}{m\,(1 - m \cdot \gamma)}}.$$

Wie oben auseinandergesetzt wurde, gibt es für die Grenzwerte von $m = 0{,}35$ bis 0,45 und für die spezifischen Gewichte $\gamma = 2{,}0$ bis 2,5 für jede grösste Wassertiefe H sechs verschiedene Grenzquerschnittsbildungen, je nachdem das Produkt $m \cdot \gamma$ zusammengesetzt ist; zwischen den Grenzquerschnitten liegen noch ebensoviele andere Querschnittsbildungen, als verschiedene Kombinationen von m mit γ möglich sind.

Beispielsweise seien für die grösste Wassertiefe $H = 50{,}0$ m

und für eine Kronenstärke $b_0 = 5{,}0$ m unter den obigen Voraussetzungen die Grenzquerschnitte zu berechnen.

a) $m = 0{,}35$ und $\gamma = 2{,}0$.

$$n = \sqrt{\frac{1}{3 \cdot 0{,}35\,(1-2 \cdot 0{,}35)}} = 1{,}7748.$$

Dieser Wert von n entspricht auch der auf S. 227 angegebenen Bedingung, wonach n wenigstens $1{,}5 \cdot \sin\alpha$ sein soll.

$$m \cdot n = 0{,}35 \cdot 1{,}7748 = 0{,}62116$$

$G_0 = 2{,}0 \cdot 25 = 50{,}0$; $G_1 = \dfrac{2{,}0 \cdot 25}{0{,}62116} = 80{,}49$; $h_1 = \dfrac{5{,}0}{0{,}62116} = 8{,}049.$

$$44a)\quad H_n = \frac{b_0}{n}\sqrt{\frac{2{,}0\,(2{,}0 \cdot 0{,}62116 + 1)}{0{,}35 \cdot 0{,}3}} = 18{,}44$$

$$Bn = 0{,}62116 \cdot 18{,}44 = 11{,}45.$$

Von H_n abwärts ist für jede Tiefe H_n unter dem höchsten Wasserstande die Mauerstärke $B_n = 0{,}62116 \cdot H_n$ und das Gewicht G_n

ist $G_n = mn\,(H_n^2 - h_1^2) = 0{,}62116\,(H_n^2 - 65{,}0)$

für $H_n = 50{,}0$ m ist $G_n = 1512{,}5$

hierzu $G_0 + G_1 = 130{,}5$

Gesamtgewicht $G = 1643{,}0$ Tonnen.

Für die Tiefe H_n ist $M_n = \dfrac{1{,}7748 \cdot 2500}{2} = 2218{,}5$ Tonnen

daher $W_s = 575{,}5$ „

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{(H_n - h_n)\,H_n}{W_s} = \frac{50 \cdot (50{,}0 - 18{,}44)}{575{,}5} = 2{,}73$$

$$AA_1 = \frac{31{,}56}{2{,}73} = 11{,}56 \text{ m};\ B = 31{,}06.$$

Nach den oben berechneten Massen ist der Querschnitt in Fig. 61 aufgezeichnet.

b) Für $m = 0{,}35$ und $\gamma = 2{,}25$ ist

$$G_0 = 2{,}25 \cdot 5{,}0 \cdot 5{,}0 = 56{,}25$$

$$G_1 = \frac{2{,}25 \cdot 5{,}0 \cdot 50}{0{,}62116} = 90{,}50$$

$$G_n = 0{,}62116\,(50^2 - 8{,}049^2)\,.\,1{,}125 = 1681{,}50$$

hierzu $G_0 + G_1 = 146{,}75$

Gesamtgewicht $G = 1828{,}25$

$M = 2218{,}50$

$W_s = 390{,}25$ Tonnen

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{(50{,}0 - H_n)\,.\,50{,}0}{390}.$$

Die Tiefe h_n ist hier aber nach Gleichung

$$H_n = \sqrt{\frac{2\,G_0 + G_1}{n\,(1 - m\,.\,\gamma)}} = \sqrt{\frac{112{,}5 + 90{,}5}{1{,}7748\,.\,(1 - 0{,}35\,.\,2{,}25)}}$$

$$B_n = 14{,}40;\ H_n = \sqrt{\frac{203}{0{,}377}} = 23{,}200 \text{ m}$$

$$\text{daher } \operatorname{tg}\alpha = \frac{(50{,}0 - 23{,}2)\,.\,50{,}0}{390} = 3{,}436$$

$$AA_1 = \frac{26{,}8}{3{,}436} = 7{,}8 \text{ m};\ B = 31{,}08.$$

c) Für $m = 0{,}35$ und $\gamma = 2{,}5$ ist

$G_0 = 62{,}5$ und $G_1 = 100{,}6$

$$G_n = 0{,}62116\,(50^2 - 8{,}049^2)\,1{,}25 = 1891$$

hierzu $G_0 + G_1 = 163$

Gesamtgewicht $G = 2053$

$M = 2218{,}5$

$W_s = 165{,}5$ Tonnen

$$H_n = \sqrt{\frac{125{,}0 + 100{,}6}{1{,}7748\,(1 - 0{,}35\,.\,2{,}50)}} = 31{,}89;\ B_n = 19{,}80$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{(50 - 31{,}89)\,.\,50}{165{,}5} = 5{,}488;$$

$$AA_1 = \frac{18{,}11}{5{,}488} = 3{,}3;\ B = 31{,}08.$$

d) $m = 0{,}40$ und $\gamma = 2{,}0$

$$n = \sqrt{\frac{1}{3\,.\,0{,}40\,(1 - 2\,.\,0{,}40)}} = 2{,}04$$

$$m\,.\,n = 0{,}816.$$

$$G_0 = 50{,}0; \; G_1 = \frac{50{,}0}{0{,}816} = 61{,}2; \; h_1 = \frac{5{,}0}{0{,}816} = 6{,}12 \text{ m}$$

$$G_n = 0{,}816\,(50^2 - 6{,}12^2) = 2009$$

hierzu $G_0 + G_1 = 111$

Gesamtgewicht $G = 2120$ Tonnen.

$$M = \frac{2{,}04}{2} \,.\, 2500 = 2550$$

$W_s = 430$ Tonnen

$$H_n = \sqrt{\frac{100{,}0 + 61{,}2}{2{,}04(1 - 0{,}40 \,.\, 2{,}0)}} = 19{,}874 \text{ m}; \; B_n = 16{,}19$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(50{,}0 - 19{,}874) \,.\, 50{,}0}{430} = 3{,}6;$$

$$AA_1 = \frac{30{,}126}{3{,}6} = 8{,}37 \text{ m}; \; B = 40{,}8 \text{ m}.$$

e) Für = m 0,40 und $\gamma = 2{,}25$

$$G_0 = 56{,}25; \; G_1 = 68{,}85$$

$$G_n = 0{,}816\,(50^2 - 6{,}12^2) \,.\, \frac{2{,}25}{2} = 2260$$

hierzu $G_0 + G_1 = 124{,}85$

Gesamtgewicht $G = 2385{,}00$

$M = 2550{,}00$

$W_s = 165{,}0$ Tonnen

$$H_n = \sqrt{\frac{112{,}5 + 68{,}85}{2{,}04 \,.\, (1 - 0{,}40 \,.\, 2{,}25)}} = 29{,}816; \; B_n = 23{,}8$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(50{,}0 - 29{,}816) \,.\, 50{,}0}{165} = 6{,}116$$

$$AA_1 = \frac{20{,}184}{6{,}116} = 3{,}3 \text{ m}; \; B = 40{,}8 \text{ m}.$$

f) Für $m = 0{,}45$ und $\gamma = 2{,}0$ ist

$$n = \sqrt{\frac{1}{3 \,.\, 0{,}45\,(1 - 2 \,.\, 0{,}45)}} = 2{,}72$$

$$m \,.\, n = 1{,}224$$

$$G_0 = 50{,}0; \; G_1 = \frac{50{,}0}{1{,}224} = 40{,}80; \; h_1 = 4{,}08$$

$$G_n = 1,224\,(50^2 - 4,08^2) = 3039$$
$$\text{hierzu } G_0 + G_1 = 90,80$$
$$\text{Gesamtgewicht } G = 3130,0 \text{ Tonnen}$$
$$M = 3400 \quad "$$
$$W_s = 270 \text{ Tonnen}$$

$$H_n = \sqrt{\frac{100 + 40,80}{2,72\,(1 - 0,45 \,.\, 2,0)}} = 22,74 \text{ m}; \; B_n = 27,83$$

$$\text{tg}\,\alpha = \frac{(50,0 - 22 \,.\, 74) \,.\, 50,0}{270} = 5,00$$

$$AA_1 = \frac{27,26}{5,0} = 5,45; \; B = 61,10 \text{ m.}$$

Durch vorstehende Rechnungen a bis f sind die Maasse für die sechs Grenzquerschnitte festgestellt, welche den Grenzwerten von n, m und p entsprechen und durch die Fig. 61 bis 66 (siehe Tafel VII) dargestellt sind.

Ausser der grossen Mannigfaltigkeit der Querschnitte für die Grenzwerte von n und p sind noch eine unbeschränkte Zahl verstärkter Querschnitte möglich, indem man die Grenzprofile je nach Umständen mehr oder weniger, besonders aber nach unten zur Erzielung grösserer Sicherheit noch erweitern kann, wie man dies häufig bei ausgeführten Profilen sieht. Auf all diese Möglichkeiten näher einzugehen, bietet das vorliegende Buch nicht den nötigen Raum auch lässt sich die nötige Verstärkung immer am besten für jeden einzelnen Ausführungsfall bemessen. Das zur Verfügung stehende Baumaterial und die Untergrundsverhältnisse sind dabei besonders zu berücksichtigen. Je mehr das Mauerwerk infolge seines Verbandes und guten Mörtels gleichsam einen einzigen Mauerblock bildet, und je weniger der Untergrund ein Nachgeben oder Gleiten befürchten lässt, desto mehr kann man sich dem Grenzquerschnitte nähern.

Die Konstruktion der Stütz- oder Drucklinien der Querschnitte ergibt sich leicht aus dem Werte von m, indem

B . E = m . B der Abstand des Schnittpunktes der aus Wasserdruck und senkrechtem Mauerdruck resultierenden Drucklinie B irgend eines normalen Querschnittes von der thalseitigen Kante ist; und

$AK = \frac{m (n + \cos \alpha) . B}{n}$ der Abstand des Schnittpunktes des senkrechten Mauerdruckes von der wasserseitigen Kante.

Zu berücksichtigen ist auch die Länge der Mauer, indem die Gefahr einer Verschiebung der Mauer durch den Wasserdruck mit der Länge und nach der Mitte hin beträchtlich zunimmt. Die Staumauern erhalten daher immer im Verhältnis ihrer Länge nach innen ausgebogene Grundrissform, die sich als ein nach der Wasserseite gekehrter Kreisbogen von sehr grossem Halbmesser darstellt. Ausserdem ist es auch ratsam, langen Staumauern eine grössere Verstärkung des Grenzquerschnittes zu geben als kurzen, da auch der Wellenschlag eine entsprechend grössere Kraftäusserung auf lange Mauern ausübt.

Damit die Thalsperren ihrer Bestimmung nach allen Richtungen vollkommen entsprechen können, müssen sie mit verschiedenen Sicherheits- und Betriebsvorrichtungen ausgerüstet werden.

Der Anprall der Wellen gegen Staudämme und Mauern kann besonders bei Erddämmen sehr zerstörend wirken, wenn die dem Wasser zugekehrten Böschungen nicht mit Pflaster, aus grossen Steinen und mit Zementmörtel versetzt und vergossen, verkleidet sind. In Tiefen, wo ein Angriff von Wellen nicht mehr zu befürchten ist, etwa 4—5 m unter dem Wasserspiegel, kann die Pflasterung aus kleineren Steinen hergestellt werden. Bezüglich der Höhe des Wellenganges wurde durch Beobachtungen festgestellt, dass die Höhe der Wellen über dem ruhenden Wasserspiegel je nach der Ausdehnung und Tiefe des Sammelteiches 2—3 m betragen kann. Die Mauern und Dämme müssen dementsprechend mit ihrer Krone den höchsten Wasserstand um mehrere Meter überragen und die Dammkrone ausserdem durch Mauerverkleidung noch geschützt sein; es empfiehlt sich, diese Überragung der Dammkrone zu mindestens 3,0 m mit einem Zuschlag von 0,1 m für jeden Meter Wassertiefe anzunehmen.

Ein gut gepflasterter Damm ist auch gegen die Zerstörungen durch Frosteinwirkung auf zeitweise durchfeuchtete und wieder vom Wasser entblösste Schichten geschützt. Die thalseitige Böschung

eines Dammes, die gewöhnlich nur mittels Rasen befestigt ist, sucht man durch Anlage von Abwässerungen der Frosteinwirkung zu entziehen. Je flacher die Böschungen, desto grösser ist die Einwirkung des Wellenschlages und des Frostes; senkrechte Mauern lassen sich bei Bildung einer Eisdecke leichter abeisen als geneigte Mauern.

Zum Schutze gegen Überfüllung durch anhaltende oder aussergewöhnlich starke Regenfälle sind Überfälle anzulegen, welche gross genug sind, um einer dem Niederschlagsgebiete entsprechenden Hochflut genügenden Ablauf zu gestatten, so dass ein Überschlagen der Damm- oder Mauerkrone ausgeschlossen erscheint. Die Schwelle des Überfalles liegt in der Höhe der grössten Füllung des Teiches, aber unter dem höchsten zulässigen Wasserstande; die Breite des Überfalles ist so zu bemessen, dass die Hochflut darüber abläuft, ohne dass dabei der höchste zulässige Wasserstand überschritten wird. Die Massbestimmung der Überfälle nach der Grösse des Niederschlagsgebietes entspricht nicht den thatsächlichen Verhältnissen, weil schon die Oberflächengestaltung der Niederschlagsgebiete, sowie auch ihre Kultur örtlich sehr verschieden sind und damit auch deren Sammelvermögen gegenüber den Niederschlagswassern, abgesehen von aussergewöhnlichen Naturereignissen, wie Wolkenbrüche, grosse Schneefälle und rascher Abgang derselben. Langjährige Erfahrungen über die einem Thale zeitweise entströmenden Hochwasser, wie sie gewöhnlich im Gedächtnis der Anwohner bewahrt werden, oder amtliche Aufzeichnungen darüber bieten eine bessere Grundlage zur Berechnung der Hochfluten als die jährlichen Niederschlagshöhen. Ist die grösste in einer Sekunde abzuführende Wassermenge M bekannt, dann erhält man die Überfallbreite B durch $B = \frac{0,5}{\sqrt{H^3}}$, worin H die Höhe des höchsten zulässigen Wasserstandes über der Schwelle bezeichnet.

Wo genügend Raum ist, empfiehlt es sich, die Überfälle an den Enden der Thalsperre, nächst den Thalgehängen anzubringen und das Flutwasser durch besondere Gerinne thalabwärts zu leiten. Ist diese getrennte Anlage nicht möglich, wie z. B. bei kurzen

Staudämmen und Mauern, und muss das Flutwasser über die Rückwand der Sperre ablaufen, so ist diese aus sehr gut gefügtem Quadermauerwerk mit anschliessendem Gerinne nach der Thalsohle herzustellen, wobei zur Brechung der Sturzkraft des Wassers eine stufenförmige Anlage gute Dienste leistet. Bei kleineren Thalsperren kann man durch Anlage von Überfallschächten die Ausmündung des Überfalles in grössere Tiefe unter der Mauerkrone verlegen, wodurch die Sturzhöhe möglichst vermindert wird. In Indien, wo man die grösste Sparsamkeit im Wasserhaushalt beobachten muss, bildet man über der Überfallschwelle einen vergänglichen Damm aus Erde und Rasen, hinter welchen das Wasser sich etwa 1,0 m hoch anstauen kann. Überspült bei weiterem Steigen das Wasser diese vorübergehende Sperre, dann wird sie allmählich zerstört, so dass das Flutwasser raschen Abfluss findet. Was für Indien zweckmässig ist, das ist aber anderwärts nicht immer gut.

Bezüglich der Reinhaltung der Sammelwasser ist es sogar zu empfehlen, das Wasser der Hochfluten möglichst von dem Sammelteiche fernzuhalten durch Ablenkung um die Ufer des Teiches herum bis hinter die Thalsperre.

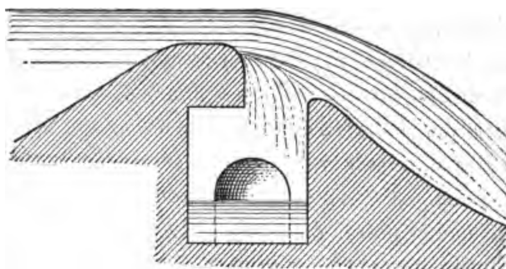
Die Trennung der Flutwasser von dem Durchschnittswasser kann man dadurch bewirken, dass man den Zuführungskanal über einen Schacht leitet, dessen obere Decke die Kanalsohle ist, worin sich ein entsprechend bemessener Schlitz befindet, so dass, wenn die Durchschnittsmenge im Kanale zugeleitet wird, das Wasser durch den Schlitz in den Schacht fällt und von hier in den Sammelteich.

Sobald jedoch so grosse Wassermengen durch den Kanal zugeführt werden, dass dabei das Wasser erheblich schmutzführend ist, dann erreicht das Wasser im Kanale über dem Schachte eine solche Geschwindigkeit, dass es über den Schlitz hinausschiesst und in einen Flutkanal gelangt, der es um die Sammelanlage herum thalwärts führt (siehe Fig. 67, S. 240).

Die Abmessungen einer solchen Vorrichtung sind selbstverständlich nur auf Grund sorgfältiger Beobachtungen und Versuche festzustellen.

Der Sammelteich bedarf zeitweise der Reinigung, was entweder durch Spülung der Sohle mittels raschen Wasserabzuges

oder durch gänzliche Entleerung bewirkt werden kann. Dazu ist immer eine Ablassvorrichtung erforderlich, die an dem tiefsten Punkte der Sperre angebracht und für Spülzwecke möglichst gross sein muss; zur blossen Entleerung genügt eine kleinere Ablassöffnung. Die Ablassvorrichtung, Grundablass, besteht aus dem Verschlusse und aus dem Kanale; der Verschluss ist für grosse Öffnungen ein Dammbalken- oder auch ein Thorverschluss, für kleinere Öffnungen sind es Schützen oder Schieber. Bei Staumauern sind die Abflusskanäle in die Mauer hineingebaut; bei Staudämmen müssen sie jedoch ausserhalb des Dammes liegen, zu welchem Zwecke oft besondere Seitenstollen erforderlich werden. Schützen und Schieber, welche behufs Spülung gezogen werden müssen, sind zu diesem Zwecke mit einer Bewegungsvorrichtung zu versehen, welche raschen Aufzug ermöglicht. Die Abschlüsse der Grundabflüsse werden an der Wasserseite der Sperre angebracht, damit der Abflusskanal nicht immerwährend unter dem Wasserdrucke des Sammelteiches steht, sondern nur zur Zeit des Wasserablasses. Dieser Wasserdruck auf die Wände des Ablasses ist je nach der Tiefe des Wasserstandes ein sehr bedeutender, und daher müssen diese Kanäle aus sehr gut gefügtem Quadermauerwerk hergestellt werden. Um den Stoss des unter hohem Drucke eindringenden Wassers im Kanale zu mindern, gibt man den Ablasskanälen wagrechte Sohle und sperrt die Mündung derselben an der Thalseite durch Dammbalken-Verschluss teilweise von der Sohle aufwärts, so dass das Wasser im Kanale auf gewisse Höhe gestaut ist.


Fig. 67.

Die Wasserentnahme für Zwecke der Wasserversorgung von Städten muss derart ermöglicht werden, dass

man bei verschiedenen Wasserständen des Sammelteiches immer in der Lage ist, das Wasser aus solcher Tiefe zu entnehmen, wo es am reinsten ist und zugleich die entsprechende Temperatur besitzt; auch soll die gänzliche Ausnützung des Wasserinhaltes der Tiefe ermöglicht sein. Die Entnahmevorrichtungen können bei Staumauern in diese hineingebaut sein, bei Staudämmen jedoch sind sie getrennt von dem Sperrdamme anzulegen. Die Entnahmevorrichtung besteht gewöhnlich aus einem besteigbaren, den höchsten Wasserstand überragenden Schachte, welcher in seinem Innern die Einlassschieber oder Schützen enthält, die in verschiedenen Höhen angebracht sind, sowie auch an der Sohle die Mündung des Ablaufrohres. Statt eines Schachtes ist für kleinere Anlagen auch ein Standrohr genügend, und für geringe Wassertiefen bis 10 m wird manchmal auch ein drehbares Saugheberohr angewendet, um das Wasser über die Dammkrone zu heben.

Ausser diesen wesentlichen Einrichtungen einer Stauanlage kommen noch verschiedene andere Vorkehrungen und Bauteile in Anwendung, die hauptsächlich örtlichen Bedürfnissen entsprechen.

Da, wo die Zuflüsse bei starken Regengüssen viele Sinkstoffe und Geschiebe führen, leitet man das Wasser vor dem Eintritt in den Sammelteich erst durch eine Kläranlage oder einen Sandfang, dem wieder ein oder mehrere Rechen vorgelegt sein können, teils um mit diesen die Schwimmstoffe abzufangen, teils um durch Verändern des Durchflussquerschnittes und der Geschwindigkeit den Niederschlag der Sinkstoffe zu fördern.

Zum Zwecke der Betriebs- und Unterhaltungsarbeiten werden die Thalseite der Sperre mit Bermen, die Mauern mit Steinträgern zur Aufnahme von Gerüsten versehen.

Häufig wird die Krone der Thalsperre auch als Verkehrsweg ausgebildet, und deshalb die Oberfläche der Krone entsprechend verbreitert und befestigt, sowie beiderseits mit Brüstungen oder Geländer versehen; letztgenannte nehmen sich gegenüber den Massen der Sperre nicht gut aus. An der Wasserseite sollen auch die Aussenflächen der Brüstungen ganz glatt gehalten sein, um dem Anprall von Wellen möglichst geringen Widerstand zu bieten und Eisansätze soviel als möglich zu verhindern.

Zur weiteren Erläuterung der vorgehend angegebenen Regeln und Grundsätze für Anlage von Thalsperren führe ich nachfolgend mehrere Beispiele ausgeführter Thalsperren an:

Der Damm des Dale-Dyke-Bassins bei Sheffield, der vom Wasser durchbrochen wurde, war 30,0 m hoch, oben 3,8 m breit, und seine Böschungen hatten eine Anlage von 1:2,5. Der innere Lehmkern hatte untere Breite von 9,0 m und obere von 1,3 m. Der übrige Dammkörper bestand aus Gerölle und Schiefer.

Die englischen Sperrdämme haben im allgemeinen die in Fig. 68 dargestellte Bauweise:

Im Innern ein Lehmkern, und Lehm umhüllt auch das in den Damm eingebaute Mauerwerk und bildet die Unterlage der wasserseitigen Pflasterung. Mit dem Grundablass steht ein Überlaufschacht in Verbindung, von welchem aus die Ablassschütze oder Schieber des Kanals zugänglich sind. Durch den Überlaufschacht werden die Überfälle in der Dammkrone vermieden.

Die Fig. 69 gibt einen Querschnitt durch den Sperrdamm von Ashti in Indien, 1876—1882 erbaut; er hat eine Länge von 3,9 km, und seine grösste Höhe beträgt 17,68 m. Der mittlere Thonkern reicht von der Sohle bis auf die undurchlässige Schicht. Der mittlere Teil des Querschnittes wird durch den inneren Damm aus einer Mischung von Sand und Lehm gebildet, an welchen sich beiderseits eine Anschüttung aus reiner Erde anlehnt. Die Erdanschüttung ist nach der Thalseite mit einer Mischung aus Lehm und Sand bedeckt, während an der Wasserseite die Böschung mit einer Thonlage gedichtet und durch Pflasterung befestigt ist.

Von Sperrmauern führe ich nachstehende Beispiele an, die dem Werke von Lueger entnommen sind.

Fig. 70 ist ein Querschnitt der Gileppe-Thalsperre bei Verviers; dieser Querschnitt zeigt verhältnismässig sehr grosse Mauerstärken, besonders die Krone ist mit 15,0 m ausserordentlich stark bemessen, was jedenfalls mit Rücksicht auf die Stösse des Wogenanpralles geschah und auch weil wegen Anlage einer Fahrstrasse mit Gehwegen schon eine grössere Breite bedingt ist.

Die spanische Thalsperre von **Villar** (Fig. 71) hat nur eine Länge von 134,8 m bei 45,00 m Tiefe für einen Sammel-

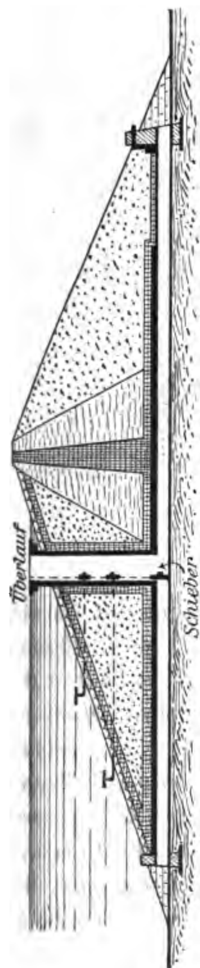
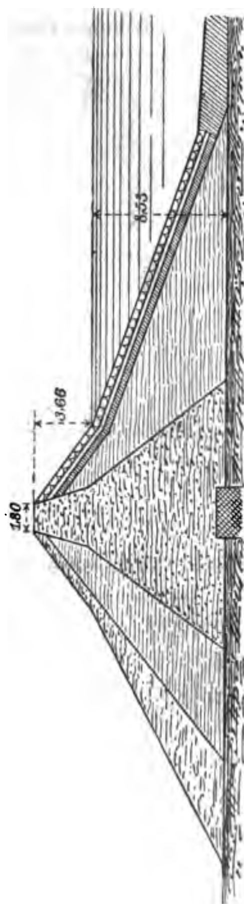


Fig. 68.
Masstab 1:1000.



Damm von Ashti.

Fig. 69.
Masstab 1:1000.
Thonkern durchgehend in der ganzen Länge.

teich von $16^1/_2$ Millionen Kubikmeter Wasserinhalt. Die Wasserentnahme geschieht in einem turmartigen Vorbau, wo sich auch der Grundablass befindet. Der Hochwasserüberfall hat eine Breite von 60,0 m.

Die Crystall-Springs-Thalsperre (Fig. 72) dient zur Wasserversorgung von San Franzisco. Die Mauerfläche der Wasserseite hat eine Böschungsanlage von 4 : 1; die Fläche der

Gileppe-Thalsperre bei Verviers.

Fig. 70. (Massstab 1 : 1000.)

Spanische Thalsperre von Villar.

Fig. 71. (Massstab 1 : 1000.)

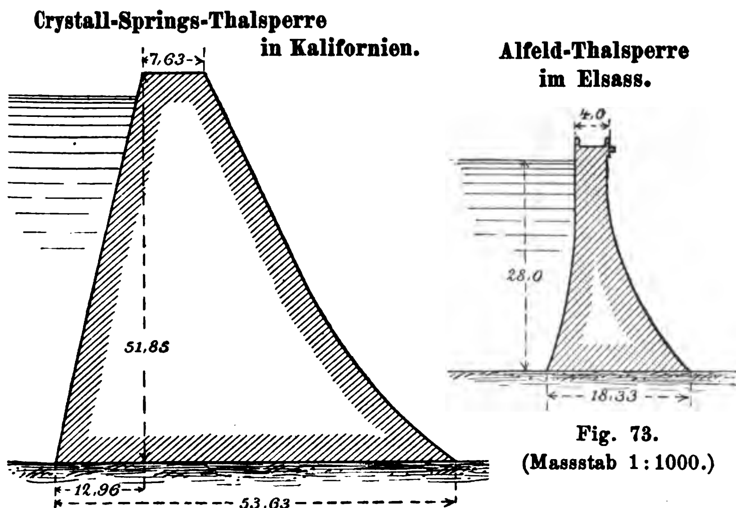
Thalseite hat im oberen Teile eine Böschungsanlage von 2,3 : 1,0 und am Fusse eine solche von 1 : 1 in Verbindung mit einem Übergangsbogen. Es ist dies die grösste Thalsperre, die aus T-förmigen Betonsteinen — von 9—12 m Dicke, sowie bis 600 Tonnen Gewicht — hergestellt wurde.

Die Betonsteine bestehen aus einer Mischung von:

1 Teil Portlandzement,
2 Teilen Sand und
6 Teilen Steinschlag

und wurden an der Baustelle angefertigt.

Die Wasserentnahme geschieht aus einem in einem Schachte aufgestellten Standrohre in drei verschiedenen Höhen.



Crystall-Springs-Thalsperre in Kalifornien.

Alfeld-Thalsperre im Elsass.

Fig. 73. (Massstab 1:1000.)

Fig. 72. (Massstab 1:1000.)

Die Alfeld-Thalsperre (Fig. 73) hat eine grösste Wassertiefe von 28,0 m und das Sammelbecken einen Fassungsraum von 1100000 cbm. Das Mauerwerk besteht aus Granit-Bruchsteinen im Cyklopenverband mit einem Mörtel aus 1 Gewichsteil Portlandzement, 2 Gewichtsteilen Wasserkalk und 10 Gewichtsteilen gewaschener Sand, mit einem Raumverhältnis von 1:4:10. Die Bruchsteine hatten einen mittleren Inhalt von 0,15—0,20 cbm. Jede Fuge wurde auf 7 cm Tiefe ausgehauen mit Portlandzementmörtel (2 Teile feiner Sand, 1 Teil Zement) ausgestrichen; diese Ausfugung wurde sowohl auf der Thalseite wie auf der Wasserseite bewirkt.

Die Thalsperre des Furens (Fig. 74 Seite 246) mit 52 m Höhe hat den dreifachen Zweck, die Wasserversorgung von St. Etienne zu sichern, dem Flusse Furens einen gleichmässigen Zufluss

zu bewirken und dadurch auch die zeitlichen Überschwemmungen zu verhindern. Um möglichst reines Wasser zu erhalten, wurde zunächst ein Umgangskanal gebaut, der 90 cbm in der Sekunde abzuführen vermag. Ausserdem ist ein Grundablass- und Entnahmetunnel vorhanden und zur Benützung bei sehr grossen Hochwassern noch ein Ablasskanal, dessen Sohle in der Höhe des gewöhnlichen höchsten Wasserstandes liegt, weshalb dieser Flutkanal immer geöffnet ist. Bei Hochwasser-Andrang wird der Flutkanal geschlossen und damit der Wasserstand um 5,5 m über den gewöhnlichen gehoben, sowie eine Ansammlung von etwa 400 000 cbm Hochwasser ermöglicht. Ein weiteres Anwachsen als 5,5 m ist durch einen in der entsprechenden Höhe angebrachten Überfall verhindert. Die Verbindung des Hochwasser-Umgangskanales mit dem Sammelbecken wird durch ein Schleusenwehr bewirkt, so dass je nach Bedürfnis der Hochwasserzufluss in das Becken geregelt werden kann.

Staumauer des Furens in Frankreich.

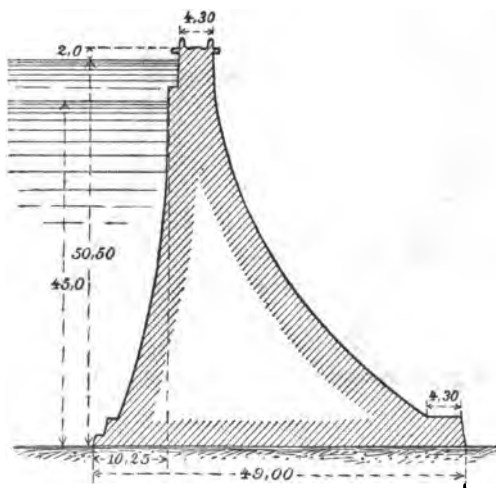


Fig. 74. (Massstab 1:1000.)

Die Sperrmauer hat eine Länge von 100 m in einem nach der Wasserseite gerichteten Bogen von 252,0 m Halbmesser. Die Entnahmeröhren liegen in einem 2,0 m hohen und 1,8 m weiten Tunnel, der zugleich als Grundablass dient.

Die Thalsperre für die Stadt Remscheid hat eine Länge von 160 m und ist in einem Bogen von 125 m Halbmesser geformt. Die grösste Wassertiefe beträgt 21,0 m. Die Mauerstärke an der Krone 4,0 m und an der Sohle 15,0 m. Die Lager-

fugen des Mauerwerkes sind so angeordnet, dass die Druckrichtung der resultierenden Kraft sowohl, wie der Vertikalbelastung senkrecht auf die Fugen trifft. Diese sind also in der Nähe der Wasserseite wagrecht und gegen die Thalseite aufwärts gerichtet. Die Fundamente ruhen auf geschlossenem Felsen, dessen Risse und Spalten ausgewaschen und mit Portlandzement vergossen wurden. Zwei kleine Quellen innerhalb der Thalsperre wurden in Röhren gefasst und abgeleitet, die Quellen selbst dann übermauert.

Der Fassungsraum des Sammelbeckens beträgt 1 Million cbm mit 134000 qm Spiegelfläche. An der Wasserseite wurde ein Zementverputz (1 Teil Zement und 2 Teile Sand) aufgetragen und darüber ein zweimaliger Anstrich aus Goudron und Holzzement. Der Überfall hat 20,0 m Breite und vermag stündlich 200000 cbm Hochwasser abzuführen. Das überschüssige Gefälle von der Thalsperre abwärts wird durch Turbinenanlagen ausgenützt.

Die Thalsperre für die Wasserversorgung von Chemnitz hat eine grösste Höhe von 28,50 m, eine Mauerstärke von 4 m an der Krone und 21,0 m an der Sohle; sie ist 185 m lang in einem Bogen von 400 m Radius. Der Fassungsraum beträgt bei einer Füllung bis 1,5 m unter Kronenfläche 360000 cbm. Die Schwelle des Hochwasserüberfalles liegt 2,0 m unter der Krone und ist 25,0 m breit.

Zum Schlusse noch einige Bemerkungen über die grosse Verschiedenheit in der Bildung des Mauerquerschnittes ausgeführter Thalsperren, wie sie durch die Fig. 70—74 vor Augen geführt wird, sowohl bezüglich der Mauerstärken an und für sich, als auch bezüglich ihrer Verteilung von oben nach unten und der dadurch bedingten Gestaltung des Umrisses des Querschnittes. Diese aussergewöhnlichen Abweichungen in der Bemessung und Verteilung der Mauerstärken ist besonders auf den Umstand zurückzuführen, dass sich alle Baumeister, denen die Aufgabe einer Thalsperreausführung zu teil wurde, der grossen Verantwortung bewusst sind, welche die Bruchgefahr einer Thalsperre im Gefolge haben kann. Die Verheerungen durch den raschen Absturz der Wassermassen einer durchbrochenen Thalsperre können ungeheure, ja grauenerregende sein, so dass bei Bestimmung der Sicherheitsverhältnisse einer

Sperre meist dies bange Gefühl eines möglichen Bruches den Ausschlag gibt, und die damit verursachten grösseren Kosten keine Berücksichtigung finden.

Die Umstände, welche die Widerstandsfähigkeit einer Sperre beeinflussen, sind auch so mannigfaltige, durch örtliche Verhältnisse bedingte, ja oft zufällige, die sich jeder menschlichen Einwirkung entziehen, so dass sich die Verschiedenheit in der Bauweise von Sperren wohl erklären lässt. Die Gestaltung der Querschnitte mittels Kurven scheint mir mehr einem ästhetischen als einem konstruktiven Bedürfnisse zu entspringen und erschwert jedenfalls die Ausführung eines Mauerwerkes.

Von allgemeinem Interesse dürfte die Mitteilung sein, dass für die Regelung der Wasserläufe in Oberschlesien von Professor Intze eine Thalsperre vorgeschlagen wurde mit einem Wasserinhalt von 50 Millionen cbm und einem Niederschlagsgebiet von 1210 qkm. Die Mauerstärke an der Sohle soll 59 m betragen und die Höhe der Mauer 61,0 m mit 6,0 m Kronenbreite. Die Kosten sind auf 8 Millionen veranschlagt.

Die Stadt Liverpool erhält einen Teil ihres Wassers aus dem Lake Vyrnwy, dem eine Thalsperre, die 18,0 m unter der Sohle des Sees fundiert ist, vorgelegt ist. Die Wasserhöhe beträgt 44 m und der nutzbare Wasserinhalt ist 55 Millionen cbm bei 456 ha Spiegelfläche des Sees.

Skutari, die asiatische Vorstadt von Konstantinopel, erhält sein Wasser durch eine Thalsperre von 320 m Länge und 25,0 m grösste Höhe, die teils mit Mauerwerk, teils durch Erdanschüttung ausgeführt ist und etwa 2 Millionen cbm Wasser ansammeln kann. Das Wasser wird vor der Zubereitung in die Stadt noch filtriert.

Das neue Croton-Reservoir für New-York hat einen Fassungsraum von 121 Millionen cbm und ist durch einen Staudamm gebildet, welcher das Flussgebiet des Crotonflusses 5,0 km oberhalb dessen Mündung in den Hudsonfluss sperrt.

Für die Wasserversorgung von Manchester wurden im Etherowthale des Penniniogebirges innerhalb 40 Jahren auf einem Niederschlagsgebiete von 7700 ha 13 grosse Sammelbehälter mit einem Nutzinhalte von 27 Millionen cbm gebaut, wovon täglich

180000 cbm abgegeben werden konnten. Zur Vervollständigung ist nun eine zweite Anlage ausgeführt, für welche das Wasser aus dem Thirlmeresee bei Kaswick entnommen wird. Durch Hebung des Wasserspiegels um 15,5 m erhielt man hier einen Wasservorrat von 37 Millionen cbm, so dass für Manchester eine Tagesmenge von 227000 cbm zur Verfügung steht. Die Sperre wurde aus Mauerwerk 16,0 m hoch über dem alten Seespiegel aufgeführt. Die gemauerte Thalsperre ist 15,3 m tief unter Flussbett fundiert. Ein Entnahmebrunnen steht mit dem See durch einen 90,0 m langen Tunnel in Verbindung; die Seiher im Brunnen, sowie die Absperrschieber werden mittels Wasserkraft bewegt.

Siebenter Abschnitt.

Die Reinigung des Wassers.

Die Verunreinigungen des Wassers bestehen entweder in blossen Beimengungen von Fremdkörpern, oder diese sind im Wasser aufgelöst. Die Beimengungen, die als Schwimm- und Sinkstoffe enthalten sind, können auf mechanischem Wege daraus entfernt werden; die gelösten organischen und anorganischen Stoffe können teils auch durch mechanische Behandlung, teils durch Zusätze chemischer Mittel ausgeschieden werden. Für die Wasserversorgung im grossen können die meisten Filterapparate wegen ihrer geringen Leistung und Kostspieligkeit nicht in Betracht kommen, ebensowenig auch das Abkochen und Destillieren des Wassers. Für Wasserversorgungsanlagen kommen in erster Reihe die Sandfilter und dann für einzelne Orte die Enteisenungen in Anwendung, in neuerer Zeit auch noch Plattenfilter; ich werde mich daher im folgenden ausführlich darüber auslassen.

Die *Sandfiltration* kann mit vorausgehender Klärung des Wassers in besonderen Klärbecken oder auch ohne diese, was meistens der Fall ist, in Anwendung kommen. Eine vor-

gängige Klärung ist nur da angezeigt, wo das Wasser viel gröbere Sinkstoffe enthält, welche bei unmittelbarer Filtration die Laufdauer eines Filters durch ihren Absatz sehr verkürzen würden, wodurch also eine öftere Unterbrechung des Filterbetriebes, Abschälung der Filteroberfläche und Ersatz des Filtersandes veranlasst würde. Andrerseits kann durch die Ablagerung von Sinkstoffen in den Klärbecken die Filtration nicht entbehrt werden, weil in den Klärbecken, wegen der kurzen Aufenthaltszeit darin, sich nur die gröberen Sinkstoffe ablagern, während die feineren thonigen Sinkstoffe und Organismen nur durch Sandfiltration ausgeschieden werden. Die Ausdehnung der Klärbecken würde eine ausserordentlich grosse werden, wollte man das Wasser so lange darin verweilen lassen, bis diese feineren Sinkstoffe sich abgesetzt hätten; ausserdem wird aber auch die Beschaffenheit des Wassers durch den Aufenthalt in den Klärbecken, die gewöhnlich nur eine Wassertiefe von 2,0 bis 3,0 m haben und nicht überdeckt sind, nachteilig beeinflusst. Im Winter wird das Wasser sehr kalt und die Spiegelfläche erhält eine Eisdecke; im Sommer wird das Wasser bis zur Ungeniessbarkeit warm, und das Wachstum von Organismen darin wird erheblich gefördert. Man lässt daher am besten die Kläranlage ganz weg, wenn nicht durch eine Verbindung derselben mit der Filtration eine wesentliche Kostenersparniss im Filterbetriebe erzielt wird.

1. Die Klärbecken müssen so gross sein, dass das Wasser darin höchstens 1 Tag sich aufhält, und ist danach die Länge L eines Klärbeckens $L = 86\,400 \,.\, S$, worin S die mittlere Geschwindigkeit des Wassers im Becken ist; und

45) $S = \frac{W}{B \,.\, H}$, worin W die Sekunden-Wassermenge, B die Breite und H die mittlere Tiefe des Beckens bezeichnet.

Daraus ergibt sich $L = 86\,400 \,.\, \frac{W}{B \,.\, H}$.

Nimmt man allgemein die durchschnittliche Wassertiefe zu 2,5 m an, so wird

$$46)\ L = 33\,760 \,.\, \frac{W}{B}.$$

Wenn nun ein Klärbecken in Aussicht genommen wird, ist die **günstigste Grundrissform** mit Bezug auf den geringsten Umfang das Quadrat, also B = L und

$$\text{daher } B^2 = 33\,760\,.\,W;\quad B = 183{,}7\sqrt{W}.$$

Z. B. für eine Wassermenge W = 25 Sekundenliter ist $B = 183{,}7\sqrt{0{,}020} = 26{,}0$ m.

Tabelle V.

Seitenlänge quadratischer Klärbecken von 2,5 m durchschnittlicher Wassertiefe.

W in Sekltr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B in m	5,8	8,2	10,0	11,6	13,0	14,2	15,4	16,4	17,4	18,37
W in Sekltr.	12,5	15,0	17,5	20,0	25	30	35	40	45	50
B in m	20,5	22,5	24,8	26,0	29,0	31,8	34,4	36,7	39,0	41,0

Werden zwei oder mehrere Klärbecken nebeneinander gelegt, dann erhalten sie einen rechteckigen Grundriss, und zwar ist das günstigste Verhältnis der Länge L_1 eines Beckens zu dessen Breite nach der Gleichung: $L_1 = \frac{(n+1)}{2n}\,.\,B;$

$$\text{für zwei Becken } L = \frac{2+1}{2\,.\,2}\,.\,B = {}^3/_4\,B_1$$

$$\text{„ drei „ } L_1 = \frac{3+1}{2\,.\,3}\,.\,B = {}^2/_3\,B_1$$

$$\text{„ vier „ } L_1 = \frac{4+1}{2\,.\,4}\,.\,B = \frac{5}{8}\,.\,B_1$$

$$\text{„ fünf „ } L_1 = \frac{5+1}{2\,.\,5}\,.\,B = \frac{3}{5}\,.\,B_1$$

$$\text{„ sechs „ } L_1 = \frac{6+1}{2\,.\,6}\,.\,B = \frac{7}{12}\,.\,B_1$$

u. s. w.

Im umstehendem Grundriss (Fig. 75) sind fünf Becken aneinander gereiht, deren Seitenmaasse nach obigen Gleichungen bestimmt sind.

Nach obigem ist, wenn W die Anzahl der Becken ist,

$$46a)\ L = 86\,400 \cdot \frac{W_1}{B \cdot H} = \frac{(n+1)}{2n} \cdot B_1,\ \text{daher allgemein}$$

$$B_1 = \sqrt{86\,400 \cdot \frac{2 \cdot n}{(n+1)} \cdot \frac{W_1}{H}}\ \text{und für H = 2,5 m ist}$$

$$47)\ B_1 = \sqrt{33\,760 \cdot \frac{W_1 \cdot 2n}{(n+1)}} = 183{,}7 \cdot \sqrt{W_1 \cdot \frac{2n}{n+1}}.$$

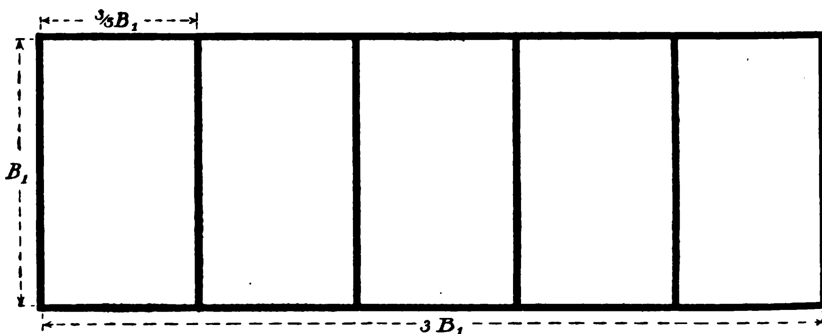


Fig. 75.

Man darf also nur die in obiger Tabelle enthaltenen Werte von B für verschiedene Durchflussmengen mit der Quadratwurzel aus $\frac{2n}{(n^2-1)}$ multiplizieren, um die entsprechenden Werte von B_1 für n Stück Becken zu erhalten.

Die Durchflussmenge für jedes einzelne Becken ergibt sich daraus, dass bei einer Reihe von Becken immer mindestens eines unbenutzt in Bereitschaft bleibt; danach muss jedes einzelne Becken einer Durchflussmenge genügen von $\frac{W}{(n-1)} = W_1$; diesen Wert für W_1 in obige Gleichung eingesetzt erhält man

$$47a)\ B_1 = 183{,}7 \sqrt{W \cdot \frac{2 \cdot n}{(n^2-1)}} = B \cdot \sqrt{\frac{2n}{(n^2-1)}}$$

Nachstehende Zusammenstellung enthält die Werthe von

$$\sqrt{\frac{2n}{(n^2-1)}}.$$

$n =$	2	3	4	5	6
$\sqrt{\frac{2 \cdot n}{(n^2-1)}}$	1,154	0,866	0,730	0,645	0,586

Legt man statt eines Klärbeckens für dieselbe Wassermenge in der Zeiteinheit mehrere aneinander gereihte Becken an, so verhält sich die Grösse F der Grundfläche des einen quadratischen Beckens mit der Seitenlänge B zu der Grösse F_1 der n Einzelbecken einer Reihe wie:

$$\frac{F}{F_1} = \frac{B^2}{B_1 \cdot n \cdot L} = \frac{(n-1) \cdot B^2}{n \cdot B^2} = \frac{n-1}{n},$$

also F ist etwas kleiner als F_1; der Unterschied $(F - F_1)$ fällt verhältnismässig um so kleiner aus, je grösser n wird.

Die Länge der Umfangsmauern des einen quadratischen Beckens ist $U = 4 \cdot B$ und die Länge der Umfangsmauern der entsprechenden Reihe von Becken ist

$$U_1 = (n+1) B_1 + 2 \cdot n \cdot L$$

$$= 2 \cdot (n+1) \cdot B_1 = 2 \cdot (n+1) \cdot B \cdot \sqrt{\frac{2n}{n^2-1}}$$

$$\text{daher } \frac{U}{U_1} = \frac{4B \cdot \sqrt{(n^2-1)}}{2(n+1) \cdot B \cdot \sqrt{2n}}$$

$$= 2 \cdot \sqrt{\frac{(n-1)}{2n(n+1)}} = \sqrt{\frac{2(n-1)}{n(n+1)}}$$

Tabelle VI.

Über das Verhältnis $\frac{F}{F_1}$ und $\frac{U}{U_1}$ für verschiedene Anzahl Becken.

$n =$	2	3	4	5	6
$\frac{F}{F_1}$	0,5	0,666	0,750	0,800	0,833
$\frac{U}{U_1}$	0,5770	0,5770	0,5477	0,5160	0,4888

Vorstehende Zusammenstellung enthält die Werte von $\frac{F}{F_1}$ und $\frac{U}{U_1}$ für verschiedene Anzahl Reihenbecken.

Der Quotient der Grundflächen nähert sich mit der Zunahme der Anzahl Becken der Einheit, weil damit der Einfluss der Grundfläche des einen Reservebeckens auf die Gesamtgrundfläche immer kleiner wird.

Der Quotient der Umfangslängen ist bis zur Anzahl von fünf Becken über $^1/_2$ und sinkt dann allmählich unter $^1/_2$. Der Aufwand an Mauerwerk ist demnach für eine Anlage mehrerer Klärbecken, statt eines einzigen, ungefähr doppelt so gross und verändert sich nicht erheblich, ob man nur zwei oder eine grössere Anzahl Becken aneinander reiht.

Statt die Klärbehälter in einer Reihe nebeneinander, kann man dieselben je nach ihrer Gesamtzahl auch in zwei oder drei aneinander stossenden Reihen anordnen und das Verhältnis der Breite zur Länge eines Behälters bestimmen.

1) Zweireihig: $L = \frac{2(n+2)}{3 \cdot n} \cdot B$

2) dreireihig: $L = \frac{3(n+3)}{4 \cdot n} \cdot B$

3) m-reihig: $L = \frac{m(n+m)}{(n+1) \cdot n} \cdot B.$

Die Aufenthaltsdauer des Wassers in den Klärbecken wird durch das Verhältnis von $\frac{L}{B}$ nicht geändert, sie ist nach obiger Annahme immer 24 Stunden. Selbstverständlich kann auch eine andere Dauer als 1 Tag in die oben vorausgeschickten Rechnungen eingeführt werden. Die Durchflussgeschwindigkeit in der Sekunde fällt jedoch um so kleiner aus, je mehr sich die rechteckige Form des Grundrisses der quadratischen nähert, was für die Ablagerung der Sinkstoffe günstiger ist. Langgestreckte Klärbehälter sind daher nicht so wirksam als quadratische von gleicher Durchgangsdauer.

Die Umfangswände der Klärbecken werden häufig nicht

gemauert, sondern abgeböscht und gepflastert; jedenfalls sollten solche Umfangswände aber, in der Tiefe von 0,50 m unter Wasserspiegel anfangend, bis zur Oberkante aus Mauerwerk mit geringem Anlaufe bestehen, um das Loseisen im Winter zu erleichtern.

Der Ein- und Ablauf des Wassers soll in der ganzen Breite des Beckens erfolgen, damit möglichst gleichmässige Strömung durch die ganze Länge des Behälters entsteht; man bewirkt daher Ein- und Ablauf durch Überfälle, sei es über eine durchlaufende Kante, oder über mehrere auf die Breite des Beckens gleichmässig verteilte Kantenabschnitte. Zweckmässiger ist es, den Einlauf unten an der Sohle stattfinden zu lassen, damit das Wasser, um zu dem an der Spiegelfläche liegenden Ablaufe zu gelangen, aufwärts steigen muss. Diese Aufwärtsbewegung ist der Richtung der Schwerkraft, welche die Sinkstoffe abwärts zieht, entgegengesetzt, wodurch eine raschere Trennung der Sinkstoffe von ihrer Umgebung bewirkt wird, d. h. die Ablagerung derselben. Die Sohle des Beckens erhält etwas Ansteigung gegen den Auslauf um die Ablagerung von jenem möglichst fern zu halten, was schon daraus sich ergibt, dass infolge des Sohlengefälles der Durchflussquerschnitt nächst dem Einlaufe grösser wird, als beim Ablaufende, d. h. die Geschwindigkeit ist dort kleiner als hier. An der tiefsten Stelle erhält das Becken einen entsprechenden weiten Leerlauf, um von Zeit zu Zeit den angesammelten Schlamm hierdurch abspülen und das Becken reinigen zu können. In Fig. 76 (S. 256) ist ein derart gebildeter Klärbehälter dargestellt.

In Berücksichtigung des günstigen Einflusses der Aufwärtsbewegung des Wassers, wobei auch die schon ausgeschiedenen Sinkstoffe auf ihrem Wege nach der Sohle den noch aufsteigenden Sinkstoffen begegnen und diese ebenfalls ausscheiden, sowie weiter, dass diese Wirkung am grössten ist, wenn die Aufwärtsbewegung des Wassers in senkrechter Richtung erfolgt — baut man sogenannte Klärtürme. Diese Türme erhalten entsprechend grosse Lichtweite, damit die Aufsteiggeschwindigkeit ein bestimmtes Höchstmass nicht überschreitet, und eine Tiefe, die nach der gewünschten Aufenthaltsdauer bemessen ist, die von örtlichen Verhältnissen, wie

Beschaffenheit des Untergrundes, sowie Gefällverhältnissen des Ein- und Ablaufes beschränkt wird und gewöhnlich 5,0 bis 6,0 m be-

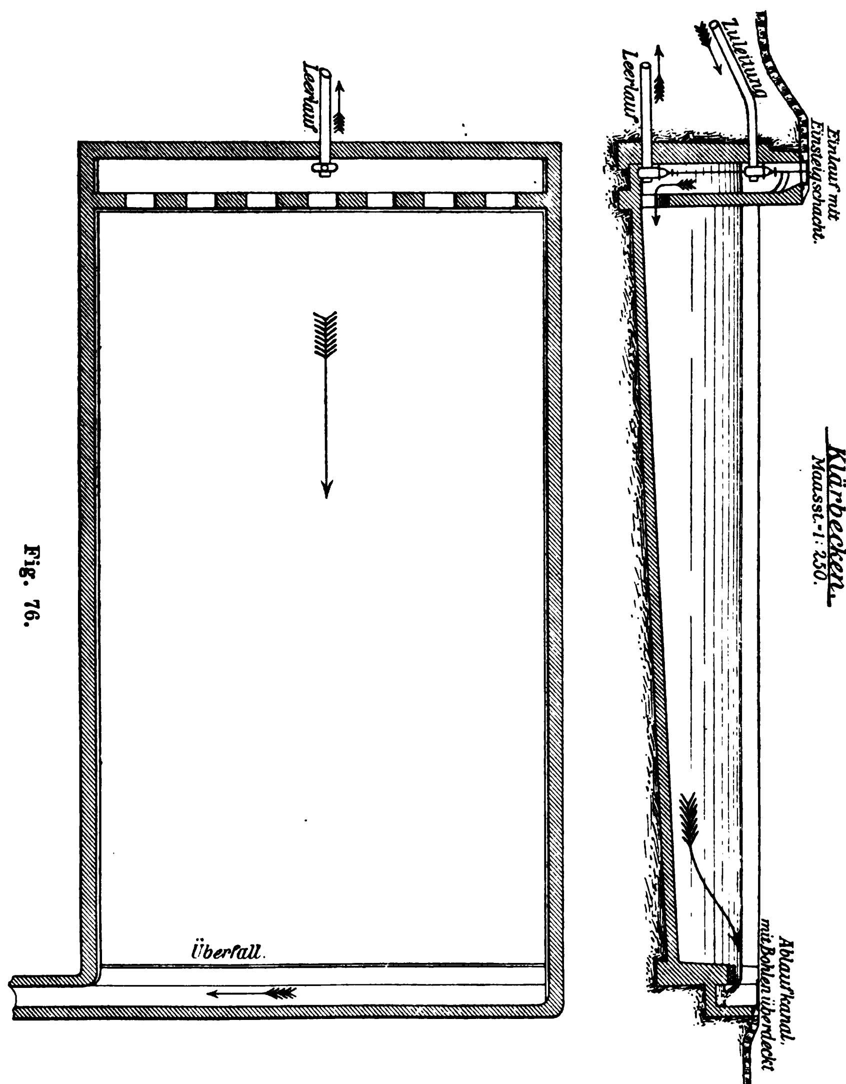


Fig. 76.

trägt. Das Wasser tritt unten an der Sohle ein und fällt am oberen Rande durch einen ringförmigen Überfall in den Abflusskanal.

Der Einlauf hat auch hier, um den Durchlauf nach Bedarf regeln zu können, einen Schieber, und von der Sohle mündet ein Entleerungsrohr. Über der Sohle und dem Wassereinlaufe bringt man einen sogenannten Verteiler an, welcher das eintretende Wasser gleichmässig über den ganzen Querschnitt des Klärbrunnens ausbreitet. Der Verteiler besteht aus einem gusseisernen, mit vielen Löchern, wie ein Seiher, durchbrochenen Boden, der auf eingemauerten eisernen Stützen lose aufruht und der leichteren Handhabung wegen aus mehreren Teilen zusammengesetzt wird. Die Brunnen werden gegen Verunreinigung von aussen oben abgedeckt und für Zugänglichkeit mit einer eisernen Leiter versehen.

Für eine Durchflussmenge von 20 Sekundenliter und einer Maximalgeschwindigkeit von 0,001 m ergibt sich ein lichter Durchmesser von

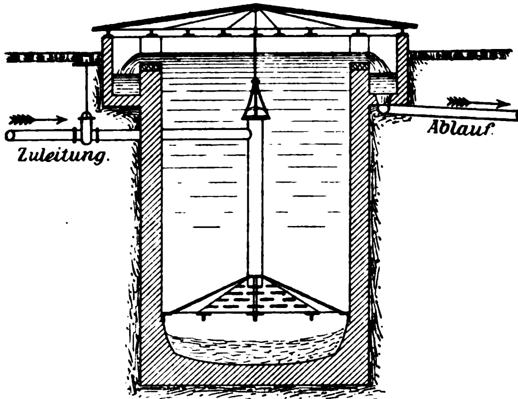
$$D = \sqrt{\frac{0,020}{0,001 \,.\, 0,7854}} = 5,0 \text{ m}.$$

Für eine Aufenthaltsdauer von 1 Tag müsste der Brunnen eine Tiefe von 8,60 m erhalten.

Ein Klärbecken müsste für die gleiche Leistung eine Quadratseite von 26,0 m bei 2,5 m mittlerer Tiefe haben, würde also viel mehr Raum einnehmen und kostspieliger sein, als ein Klärbrunnen, der zudem dieselbe Leistung mit geringerer Aufenthaltsdauer als 24 Stunden erreichen kann, z. B. in 18 Stunden mit einer Brunnentiefe von nur 6,5 m. In Fig. 77 (S. 258) ist ein Klärbrunnen aufgezeichnet und bedarf diese Aufzeichnung keiner weiteren Erklärung.

Die Wirkung dieser Kläranlagen kann man natürlich verstärken, dass man z. B. bei Klärbecken statt der einen unten durchbrochenen Querwand, welche die Einlaufabteilung bildet, mehrere solche durchbrochene Querwände hintereinander einsetzt, derart, dass zwischen je zwei unten durchbrochenen Wänden immer noch Vollmauer, die unten geschlossen ist, aber am oberen Ende Überfallkante hat, einzieht. Durch diese Anordnung wird das Wasser genötigt, nicht nur einmal, sondern mehreremale ab- und aufzusteigen. Oder man führt das Wasser, nachdem es durch eine Kläranlage schon gegangen, noch durch

eine zweite oder dritte Anlage, wie dies bei den von den Entwässerungen herrührenden Schmutzwässern geschieht; diese Art Wasser, an deren Reinigung keine sehr hohen Ansprüche gestellt werden, erhalten auch eine viel grössere Durchgangsgeschwindigkeit, nämlich gewöhnlich 4—8 mm.



Klärbrunnen
Maafsst.-1: 200.

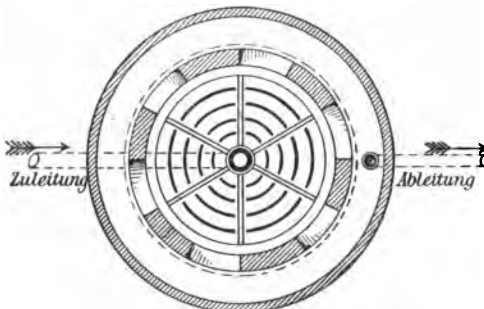


Fig. 77.

Vor den Einlauf des Wassers in eine Kläranlage setzt man gewöhnlich noch ein Gitter oder einen Rechen als **Fangvorrichtung** für die im Wasser enthaltenen gröberen Schwimmstoffe, die im allgemeinen in dem zur Wasserversorgung dienenden Wasser nicht häufig vorkommen, oder gar nicht, wenn schon an der Entnahmestelle eine derartige Fangvorrichtung angebracht ist.

Sandfilter.

Diese **Filter bestehen** zwar nicht nur aus **Sand**, sondern auch noch aus mehreren übereinander lagernden Schichten gröberen und feineren **Kieses**; aber die oberste, aus feinem Sande be-

stehende Schicht ist diejenige, welche die Sinkstoffe dem Wasser entzieht, und zwar ist auch hier nur die Oberfläche dieser Sandschicht mit einer geringen Tiefe von mehreren Centimetern für die Reinigung wirksam. Man spricht daher mit Recht bei den fraglichen Filtern nur von Sandfiltration. Der unter dem feinen Filtersande folgende grobe Sand und darunter die Kiesschichten haben nur die Bestimmung, dass jede Schicht gleichsam der Träger für die darüber lagernde Schicht ist.

Um als Träger dienen zu können, müssen die Zwischenräume unter den einzelnen Körnern einer Schicht kleiner sein, als die Körner der darüber lagernden Schicht, damit diese nicht in die Zwischenräume eindringen und die Wasserwege verstopfen können. Bezeichnet man mit d_1 den Korndurchmesser der oberen, mit d_2 denjenigen der unterliegenden Schicht so muss sein

$$d_1 = 0{,}414 \,.\, d_2 \text{ und}$$
$$d_2 = 2{,}4 \,.\, d_1 + 2 \text{ mm} \,.$$

$$\left.\begin{aligned} 2\,d_2^2 &= (d_1 + d_2)^2 \\ (d_1 + d_2) &= d_2 \sqrt{2} \\ &= d_2 \,.\, 1{,}414 \\ d_1 &= d_2 \,.\, 0{,}414 \end{aligned}\right.$$

Der Filtersand ist um so wirksamer, je feiner er ist, doch ist man im allgemeinen durch örtliche Verhältnisse auf die Wahl bestimmter Sande beschränkt und kann als durchschnittliche Korngrösse des Filtersandes 0,80 mm annehmen; danach erhalten die unterliegenden Trägerschichten folgende Korndurchmesser:

Mittlere Grösse der Filterkörper.

Bezeichnung der Schichten von oben nach unten	Korngrösse = D in Millimeter	Dicke der Schichten in Meter
Über dem Sande stehende Wasserschicht .	—	0,70
Feine Sandschicht	0,80	0,60
Grobe „	2,1	0,05
Erbsenkies	7,0	0,08
Bohnenkies	19,0	0,12 .
Walnusskies	47,0	0,15
Wacken oder Klopfsteine	11,5	0,25
Gesamthöhe vom Wasserspiegel an		1,95 m.

Die Höhe der Wasserschicht über dem Sande schwankt von 0,60 m bis 2,0 m, je nachdem das Filter ein überdecktes, vor den Einwirkungen des Frostes und der Wärme geschütztes, oder ein offenes Filter ist. Offene Filter sollen in kalten Gegenden mit andauerndem Frostwetter wenigstens eine Wasserüberdeckung des Sandes von 1,0 bis 1,2 m, in heissen Ländern wenigstens 1,5 m erhalten; in überdeckten Filtern genügt eine Wasserhöhe von 0,60 bis 0,80 m, welches Mass nämlich die Grösse des für den Filterdurchgang des Wassers erforderlichen Überdruckes hat. Dieser Überdruck ist der Höhenunterschied zwischen dem Wasserspiegel über dem Sande und der Überfallkante des Abflussrohres aus dem Filter; je nachdem das Filter noch frisch gereinigte Sanddecke hat oder schon mehr oder weniger benützte, also mit Schlammdecke versehen ist, wird auch die für den Wasserdurchgang erforderliche Überdruckhöhe eine kleinere oder grössere. Die Überfallkante des Reinwassersablaufrohres muss daher mindestens in der Höhe der Oberfläche der feinen Sandschicht liegen, damit selbst bei den geringsten Überdruckshöhen noch der angenommene Normalwasserstand über dem Sande eingehalten werden kann. Zu diesem Zwecke ist die Überfallkante entweder beweglich oder feststehend; für die Beweglichkeit der Überfallkante ist der obere Teil des Reinwasserablaufrohres in seinem unteren Teile verschiebbar, so dass die Überfallkante für kleinen Überdruck gehoben, für grossen unter den Wasserspiegel über der Sanddecke gesenkt wird.

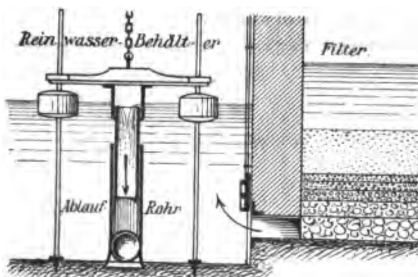


Fig. 78.

Die Bewegung des verschiebbaren Rohrteiles kann selbstthätig in Verbindung mit Schwimmern oder von Hand durch eine Schraubenspindel geschehen. Von Lindley wurde zuerst folgende Einrichtung, die in Fig. 78 skizziert ist, ausgeführt.

Über dem Ablaufrohre

des Reinwasserbehälters ist der obere bewegliche Rohrteil durch einen Hebelarm mit zwei Schwimmern verbunden, welche diesen Rohrschieber tragen und mit dem Wechsel des Wasserstandes im Reinwasserreservoir auf und ab bewegen. Liefert das Filter weniger Wasser als von dem Ablauf abgeführt wird, so fällt der Wasserspiegel im Reinwasserbehälter, und damit werden die Schwimmer und die Überfallkante gesenkt, wodurch eine grössere Überdruckhöhe und dadurch ein grösserer Wasserzufluss aus dem Filter veranlasst wird.

Umgekehrt wird der Überdruck durch Steigen der Schwimmer und Überfallkante vermindert, sobald die Filter mehr Reinwasser liefern, als durch den Ablauf befördert wird. Wird demnach der Wasserzulauf zu dem Filter immer in gleichem Masse bewirkt, dann regelt sich der Überdruck und Ablauf mittels des oben beschriebenen Apparates selbstthätig so, dass für die verschiedenen Überdruckshöhen der Ablauf immer gleich dem auf ein bestimmtes Mass gestellten Zulaufe ist. Erreicht der Überdruck dabei seinen Höchstwert, der nicht überschritten werden darf, um die Filtration nicht zu gefährden, so muss der Zulauf verringert werden.

Das Filter ist in diesem Falle durch den Gebrauch allmählich undurchlässiger geworden und kann innerhalb des zulässigen Überdruckes nur noch eine geringere Wassermenge in der Zeiteinheit reinigen. Verringert sich die Leistung noch weiter, so muss endlich das Filter ausser Betrieb gesetzt und von der seine Oberfläche bedeckenden Schlammschicht befreit werden, wonach es wieder betriebsfähig ist.

Statt der selbstthätigen Bewegung des Überfallrohres der oben beschriebenen Vorrichtung kann auch die Bewegung von Hand durch eine mit diesem Rohre verbundene Schraubenspindel bewirkt werden, wobei jedoch die Aufmerksamkeit des Filterwärters stark in Anspruch genommen wird, wenn die Einstellung der Überfallskante immer dem Gleichgewichte zwischen Zu- und Ablauf entsprechen soll.

Eine andere Einrichtung besteht darin, dass man nicht die Kante des aus dem Reinwasserbehälter führenden Ablaufrohres,

sondern die Kante des aus dem Filter in den Reinwasserbehälter führenden Ablaufrohres mit seiner untersten Grenze in die Höhe der obersten Sandfläche legt, sie hier entweder ständig lässt oder auch, der erforderlichen Überdruckshöhe entsprechend, beweglich macht. Die Bewegung des Rohrstückes kann hier auch selbstthätig sein, wie die durch Fig. 79 skizzierte Vorrichtung zeigt, oder von Hand mittels Schraubenspindel bewirkt werden. Im übrigen gilt hier dasselbe, was bei der vorher beschriebenen Einrichtung gesagt wurde.

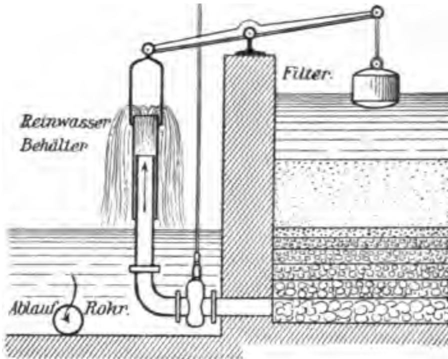


Fig. 79.

Ist die Höhe der Überfallkante in der Ebene der Sandoberfläche eine unverrückbare, einerlei ob das Ablaufrohr aus dem Reinwasserbehälter oder aus dem Filter in diesen Behälter der Träger der Überfallkante ist, so wird die Regelung des erforderlichen Filterdruckes bei ständig gleicher Wasserhöhe über dem Sande durch Drosselung des Ablaufes mittels einer im Ablaufrohre angebrachten Absperrvorrichtung vorgenommen. Hat das Ablaufrohr aus dem Reinwasserbehälter die feststehende Überfallkante, dann liegt der Mindestwasserstand dieses Behälters in der Höhe jener Kante und wird durch Drosselung des Ablaufes erhöht und damit der Überdruck vermindert; die Drosselung muss also so bemessen werden, dass unter Einhaltung des Gleichgewichtes zwischen Zu- und Ablauf der Wasserstand im Filter über dem Sande immer der gleiche, vorgesehene, bleibt. Ist die Überfallkante am oberen Rande des Ablaufrohres aus dem Filter in den Reinwasserbehälter, dann besteht die Regelung des Überdruckes in der Erhöhung oder Verminderung des Reibungswiderstandes durch Drosselung des Wasserlaufes in der Ablaufröhre. Die Verengung des Durchlaufsquerschnittes im Ablauf-

rohre mittels Schliessens der Absperrvorrichtung muss hier auch dem Gleichgewicht zwischen Zu- und Ablauf unter Festhaltung des ursprünglichen Wasserstandes im Filter angemessen sein. Der Wasserstand im Reinwasserbehälter liegt in diesem Falle immer unter der Überfallkante und hat keinen Einfluss auf den Filterdruck.

Bei allen vorgenannten Einrichtungen hat der Filterwärter immer mit Aufmerksamkeit den Verlauf der Filtration zu verfolgen, und zu diesen Zwecken sind noch einige Vorrichtungen zur Erkennung der Wasserstände, der Zu- und Abflussmengen angebracht, wovon später die Rede sein wird.

Aus dem Vorhergehenden ergibt sich, dass die Schwankungen des für den Filterbetrieb erforderlichen Überdruckes, infolge der allmählichen Verschlammung, den Betrieb um so weniger stören, je geringer sie sind, und dies ist von Bedeutung für die Dicke der obersten, feinen Sandschicht, wo allein die Reinigung des Wassers vor sich geht. Wegen der ausserordentlichen mit der Zeit zunehmenden Enge der Wasserwege zwischen den einzelnen Sandkörnern ist hier der Aufwand an Druckhöhe zur Überwindung der Reibungswiderstände am bedeutendsten, so dass für den Durchgang des Wassers in den unterliegenden Filterschichten nur ein verhältnismässig geringer Teil des Betriebsdruckes verwendet wird. Je dicker demnach die obere, feine Sandschicht angelegt wird, desto geringer wird der durch die Verschlammung entstehende Druckverlust im Verhältnis zum Gesamtdruckverlust, d. h. zum Betriebsdrucke; mit anderen Worten ausgedrückt, kann man also auch behaupten, dass die Druckschwankungen während des Filterbetriebes um so geringer sind, der Betrieb also um so gleichmässiger wird, je dicker die feine Sandschicht ist. Als geringste Dicke, bis zu welcher die Sandschicht abgeschält werden darf, nimmt man im allgemeinen 0,30 m an; die Höhe der frisch aufgetragenen Sandschicht beträgt mindestens 0,60 m, so dass man die verschlämmte Oberfläche 5 bis 6 mal abschälen kann, bevor man das Mindestmass der Dicke von 0,30 m erreicht.

Die Dicke der übrigen Filterschichten ist durch deren Korngrösse bestimmt, indem zur Bildung einer Schicht

erforderlich ist, dass einige Reihen von Einzelstücken oder Körnern übereinander gelagert sind; bei den grossen Steinen z. B. wenigstens zwei, dem Walnusskies wenigstens drei, dem Bohnenkies wenigstens sechs Reihen übereinander u. s. w. Die Höhe der Filterschichten ist nach obiger Tabelle 1,25; hierzu eine Wasserhöhe von 0,70 m ergibt 1,95 m; für unbedeckte Filter mit freier Spiegelfläche kommt hierzu noch ein Spielraum von 0,50 m vom Wasserspiegel bis zur Oberkante der Umfangsmauern, ausserdem noch 0,20 m für die Höhe der über der Sohle herzustellenden Sammelrinnen, so dass die Gesamthöhe im Lichten eines solchen Filters wenigstens 2,65 m wird. Ist das Filter aber überdeckt, so muss zur Vornahme der Reinigungs- und Abschälungsarbeiten über dem Sande noch ein freier Raum sein von wenigstens 2,0 m bis zum Gewölbescheitel. Die Gewölbe bestehen aus demselben Grunde gewöhnlich aus flachen Tonnengewölben von geringer Spannweite, 1,5 bis 2,0 m, deren Widerlager eiserne, von gemauerten Pfeilern unterstützte T-Träger bilden.

Für den gleichmässigen Verlauf der Filtration ist von erheblicher Bedeutung die möglichst gleichmässige Beschaffenheit des Kornes der einzelnen Filterschichten, damit das Wasser bei seinem Hinabsinken innerhalb derselben überall gleichen Widerstand findet, also ganz gleichmässig durch den ganzen Horizontalquerschnitt verteilt absinkt. Vollkommen wird dieses Ziel aber nur dann erreicht, wenn auch der Zusammenlauf des Wassers über der Sohle nach dem Ablaufe zu ein über die ganze Sohlfläche möglichst gleichmässiger ist. Findet hier eine stellenweise stärkere Strömung statt, so wird auch in den darüber liegenden Schichten nach diesen Stellen eine lebhaftere Bewegung entstehen, die, wenn sie sich bis zur Oberfläche des Sandes erstreckt, eine Durchbrechung der obersten Schicht verursachen kann. Um diesen gleichmässigen Ablauf über der ganzen Sohlenfläche zu erreichen, müsste eigentlich die unterste Filterschicht auf einer Art Seiher aufruhen, was man mittels aneinander gereihter halber Thonröhren bewirken kann, die gelocht sind, oder mittels Backsteinen, die in zwei oder drei Schichten über- und nebeneinander mit entsprechenden Zwischen-

räumen verlegt werden. Mit geringeren Kosten kann man auch ein befriedigendes Ergebnis erhalten, wenn man aus hartgebrannten Backsteinen in der Richtung nach dem Auflaufrohre einen Sammelkanal anlegt, welcher die Bodenfläche halbiert; nach diesem Sammelkanale führt man dann, von den Umfangswänden ausgehend, kleinere Nebenrinnen in Abständen von 1,5 bis 2,5 m und ebenfalls aus Backsteinen mit Zwischenräumen aufgesetzt und überdeckt (siehe die Skizze Fig. 80). Der Raum zwischen den einzelnen Nebenrinnen wird durch grobe Steine ausgefüllt, so dass die Sammelanlage über der Sohle die Fortsetzung der darüber folgenden untersten Filterschicht aus Wacken oder groben Geschieben bildet.

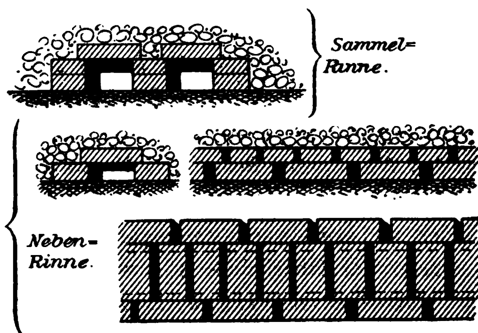


Fig. 80.

Den lichten Querschnitt der Sammelrinnen macht man so gross, dass das Wasser darin mit geringer Geschwindigkeit, etwa 0,1 m in der Sekunde, ablaufen kann; der Querschnitt wird daher sowohl in der Haupt- als in den Nebenrinnen mit der Entfernung vom Auslaufrohr immer kleiner. Selbstverständlich ist, dass alle zu einem Filterbette zu verwendenden Materialien, Sand, Kies und Steine, vor ihrer Einbringung in das Filter gut gereinigt und gewaschen werden müssen.

Für die Grösse der Durchgangsgeschwindigkeit des Wassers bei der Filtration ist im allgemeinen gebräuchlich, anzunehmen, dass jeder Quadratmeter Filterfläche, durchschnittlich 2,0 bis 3,0 cbm Rohwasser in 24 Stunden zu reinigen vermag; selbstverständlich sind dabei nicht nur die örtlichen Verhältnisse, sondern auch die zeitweisen Trübungsverhältnisse zu berücksichtigen. Vor allem ist zu beobachten, dass jedem Filtermaterial eine Höchstgeschwindigkeit des Wassers entspricht, bei welcher noch ein

gleichmässiger Durchgang des Wassers stattfindet; wird diese Geschwindigkeit überschritten, so wird die obere Sandschicht stellenweise durchbrochen, und es bilden sich einzelne Wasserwege durch die Filterschichten, auf welchen das Wasser ungereinigt absinkt; wenn man den Betriebsdruck von 0,80 m nicht erheblich überschreitet, dann bleibt auch die Geschwindigkeit in den zulässigen Grenzen.

Je mehr Sinkstoffe, besonders feine und klebrige, ein Wasser enthält, desto langsamer ist dessen Filtrationsgang, daher z. B. Flusswasser im allgemeinen die Leistung der Filter mehr in Anspruch nimmt, besonders zur Regenzeit und während Hochwassers, als das Wasser aus Seen. Die Flusswasser aus Niederungen haben infolge des meist geringen Gefälles der Flüsse zu Zeiten des Nieder- und Mittelwassers weniger Sinkstoffe als die lebhaft fliessenden Gewässer des Oberlandes u. s. w.

Für eine mittlere Leistung von 2,6 cbm gereinigtes Wasser in 24 Stunden ergibt sich eine Durchgangsgeschwindigkeit von 0,00003 m oder 0,03 mm, also schon eine äusserst geringe Bewegung des Wassers im Filter; für Tiefe des Filters vom Wasserspiegel bis zur Sohle mit 2,40 m braucht daher das Wasser eine Zeit von 80 000 Sekunden = 22 Stunden, um diesen Weg zurückzulegen.

Für einen bestimmten täglichen Wasserbedarf W erhält man die zur Reinigung dieser Wassermenge erforderliche Filterfläche F, wenn die durchschnittliche Leistung 2,6 cbm in 24 Stunden ist: $\frac{W}{2,6} = F$ qm.

Für jede Wasserversorgungsanlage sind wenigstens 2 Filter anzulegen, damit der Betrieb durch die unumgänglichen Reinigungsarbeiten nicht gestört wird. Ausserdem ist auch die Verschiedenheit des Wasserbedarfes in den einzelnen Jahreszeiten zu berücksichtigen. Im Sommer beträgt der Wasserverbrauch bis 150 % des mittleren Tagesverbrauches und im Winter nur 85 % des mittleren, oder 56 % des Sommerverbrauches; dazu kommt noch, dass im Winter zur Frostzeit die Gewässer meist weniger getrübt sind, als in den regnerischen Jahreszeiten. Wenn man daher die Grösse der Filter

derart berechnet, dass ein Filter 80 % des mittleren Tagesbedarfes zu liefern vermag, so kann man mit 3 Filtern den Schwankungen des Wasserbedarfes im Verlaufe eines Jahres genügen und dabei der ganzen Filteranlage eine grössere Beweglichkeit zum Zwecke ihrer Instandhaltung verleihen, und gleichzeitig hat man immer eine Bereitschaft für unvorhergesehene Erhöhung des Bedarfes.

Die Betriebsführung eines Filters wird mit dessen Ausdehnung immer schwieriger, wodurch die Grösse der Filter eine begrenzte ist; gewöhnlich nimmt man eine Filterfläche von 2000 qm als Höchstmass an. Grössere Wasserwerksanlagen können daher mit 2 oder 3 Filtern nicht auskommen, sondern bedürfen, obigem Höchstmass entsprechend, oft eine viel grössere Anzahl Filter, indem mit der Zahl der Filter zugleich auch die Zahl der Reservefilter grösser sein muss.

Für die Filter ergeben sich auch wie für die Klärbecken, je nach ihrer Anzahl und Aneinanderreihung bestimmte Verhältnisse der Länge zur Breite der Filterfläche, wenn für die einzuschliessenden Flächen die geringste Ausdehnung der Umfangswände erreicht werden soll. Die für die Klärbecken angewendeten Gleichungen können auch hier angewendet werden.

Für die Anlage von 2 Filtern ist unter der Annahme einer durchschnittlichen Leistung von 2,6 cbm Reinwasser in 24 Stunden die Filterfläche für 2 Becken, wovon 1 in Reserve,

$$F = \frac{W}{2,6} \text{ und } L = {}^3/_4\, B$$

$$F = {}^3/_4\, B^2 = \frac{W}{2,6}; \text{ und } B = 0,72 \sqrt{W}.$$

Legt man jedoch für denselben mittleren Tagesverbrauch von W cbm drei Becken an, jedes für 80 % des mittleren Tagesverbrauches und eines davon als Reserve, so ist die Filterfläche eines Beckens:

$$F = \frac{0,8\,W}{2,6} = \frac{W}{2,08}; \; L = {}^2/_3\, B$$

$$F = {}^2/_3 \,.\, B^2 = \frac{W}{3,25} \text{ daher}$$

$$B = 0,68 \,.\, \sqrt{W}.$$

Vergleicht man den Aufwand an Umfangsmauern bei einer Anlage von 2 und von 3 Becken, so erhält man

für zwei Becken:

$$U_2 = 4L + 3B = \sqrt{W}\,.\,(3\,.\,0{,}72 + H\,.\,{}^3/_4\,.\,0{,}72)$$
$$= 4{,}32\,.\sqrt{W};$$

für drei Becken:

$$U_3 = 6\,.\,L + 4B = \sqrt{W}\,.\,(6\,.\,{}^2/_3\,.\,0{,}68 + 4\,.\,0{,}68)$$
$$= 5{,}44\,.\sqrt{W};$$

daher $\frac{U_2}{U_3} = \frac{4{,}32}{5{,}44} = 1:1{,}26$

vorausgesetzt, dass bei der dreifachen Anlage jedes Becken nur für 80 % des mittleren Tagesbedarfes berechnet ist. Werden aber der Berechnung der Filterfläche 100 % des Tagesbedarfes zu Grunde gelegt, so dass für je 1 Becken der halbe Tagesbedarf in Betracht kommt, indem das dritte Becken in Bereitschaft steht, dann ist

$$F = \frac{W}{2\,.\,2{,}6} = \frac{W}{5{,}2};\quad L = {}^2/_3 B$$

$$F = {}^2/_3\,.\,B^2 = \frac{W}{5{,}2};\ \text{daher}$$

$$B = 0{,}537\sqrt{W}.$$

$$U_3 = 6L + 4B = \sqrt{W}\,.\,(4\,.\,0{,}537 + {}^2/_3\,.\,6\,.\,0{,}537)$$

$= 4{,}30\,.\sqrt{W}$; in diesem Falle ist also die Ausdehnung der Umfangsmauer von 3 Becken ebenso gross, als für 2 Becken. Die Gesamtfilterfläche ist

für zwei Becken $F_2 = 2\,.\,{}^3/_4 B_1^2 = 2\frac{W}{2{,}6} = 0{,}77\,.\,W;$

für drei Becken mit einer Leistung von je 80 % des Tagesbedarfes ist

$$F_3 = 3\,.\,\frac{0{,}8\,.\,W}{2{,}6} = 0{,}92\,.\,W;$$

für drei Becken mit einer Leistung von je 50 % des Tagesbedarfes ist

$$F_3 = 3\,.\,\frac{0{,}5\,.\,W}{2{,}6} = 0{,}56\,.\,W.$$

Wenn die Filter überdeckt werden, so würde die letztangeführte dreifache Anlage den geringsten Aufwand an Deckfläche verursachen.

Sollen 4 Filter hergestellt werden, wovon 1 Reserve und 3 zusammen dem Höchstverbrauch im Sommer entsprechen müssen, dann ist

$$F = \frac{1,5 \,.\, W}{3} = 0,50 \,.\, W \text{ und } L = {}^5/_8 \, B$$

$$F = {}^5/_8 \,.\, B^2 = 0,5\,W, \text{ daher } B = 0,56\sqrt{W}$$

$$U_4 = 5\,B + 8\,L = \sqrt{W}\,.\,(5 \,.\, 0,56 + {}^5/_8 \,.\, 8 \,.\, 0,56)$$

$$= 5,6\sqrt{W} \text{ und}$$

$$F_4 = 4 \,.\, 0,50\,W = 2,0\,W$$

u. s. w.

Die Filterbecken wurden früher fast immer als unbedeckte und in der Weise hergestellt, dass man die äusseren, vom Gelände begrenzten Umfangwände durch die natürliche Böschung des Bodens bildete und diese Böschungen durch Steinpflasterung befestigte; die Scheidewände zwischen den einzelnen Becken wurden der Raumersparnis wegen aus Mauerwerk mit einer dem von unten nach oben abnehmenden Wasserdrucke entsprechenden Verjüngung errichtet. In kalten Gegenden, wo die Filter im Winter aufgeeist werden müssen, erhält der Oberteil der Umfangswände zweckmässig eine senkrechte Innenfläche bis etwa 0,50 m unter dem höchsten Wasserstande im Filter, mit glatten Quadern verkleidet. Der tiefer gehende Teil der Umfangswände, besonders der im Bereiche des Filterbettes befindliche, soll nicht ganz senkrecht, und auch nicht glatt sein, weil sich in diesem Falle zwischen Filtersand und Umfangswand leicht ein Wasserweg bilden kann, auf dem ungereinigtes Wasser absinkt.

Jetzt werden die Umfangswände ganz in Mauerwerk ausgeführt, aus Bruchsteinen, Backsteinen oder ganz aus Stampfbeton. Die Sohle erhält von allen Seiten Gefälle nach dem Ablaufrohre, das durch Öffnen einer Absperrvorrichtung auch als Leerlauf dienen kann. Die Sohle wird manchmal, wo guter Untergrund vorhanden ist, durch einen 0,20 bis 0,30 m starken Lettenschlag mit darüber liegendem Ziegelpflaster hergestellt; besser ist die

Ausführung der Sohlenbedeckung mit Stampfbeton und darüber aufgetragenem wasserdichten Zementverputz. Eine Hauptsache ist die sichere Gründung des ganzem Mauerwerks, so dass kein nachteiliges Setzen und Reissen der Sohle oder des Mauerwerkes eintreten kann. Risse im Mauerwerk, wenn sie auch den Bestand desselben nicht gefährden, haben den Übelstand im Gefolge, dass nicht nur Wasserverluste hierdurch entstehen, sondern auch unreine, oft schädliche Wasser von aussen eindringen können.

Die Überdeckung der Filter wird am besten durch Gewölbe von geringer Stichhöhe und Spannweite bewirkt, deren Widerlager eiserne Träger bilden, welche auf gemauerten Pfeilern ruhen. Die Abdeckung erhält auf den Innenflächen glatten Zementverputz, aussen rauhen Verputz aus hydraulischem Mörtel; die äusseren Gewölbe werden mittels Beton derart ausgeglichen, dass die ganze äussere Deckenfläche nach den Umfangswänden abwässert. Die Gewölbedecke erhält dann noch zum Schutze gegen äussere Temperatureinflüsse eine Erdanschüttung von wenigstens 1,0 m Höhe. Behufs Lüftung des Filterraumes über dem Sande, werden in die Gewölbescheitel Eisen- oder Thonröhren eingesetzt, die etwa 1,0 m über die Erdanschüttung hinausreichen und durch Kappen und Drahtgitter gegen das Eindringen von Unreinigkeiten und Tieren geschützt sind. Die Erdanschüttung wird in ihrer ganzen Ausdehnung mit Klee-Grassamen angesät.

Den Filtern wird ein Reinwasserbehälter, der zugleich auch Schieberkammer sein kann, angefügt, am besten in der Weise, dass derselbe zu den Filtern eine zentrale Lage hat, was jedoch meist wegen des hierzu nicht verfügbaren Raumes unausführbar ist. Gewöhnlich erhalten daher zwei neben einander liegende Filter eine gemeinschaftliche Schieberkammer, welche durch Scheidemauern von entsprechender Höhe in zwei Reinwasserbehälter geteilt ist.

Die Schieberkammer nimmt die Zulauf- und Ablauf-, sowie Überlauf- und Leerlaufröhren mit ihren Absperrvorrichtungen auf, ferner die Einrichtungen für Regelung der Wasserstände u. dgl. Zugänglich sind die überdeckten Filter und Schieberkammern durch Einsteigschachte.

Um der auf der Sohle der Filter sich sammelnden Luft einen leichten Abzug zu verschaffen, werden an den Umfangswänden, besonders an den höchsten Punkten der Sohle Luftröhren von etwa 50 mm D., die unten offen und bis etwa 0,30 m über der Sohle gelocht sind, in die Höhe geführt bis wenigstens 0,50 m über den höchsten Wasserstand im Filter. Die Entfernung dieser Bodenluft ist deshalb von Bedeutung, weil sie sonst gewaltsam sich einen Weg durch die Filterschichten nach oben bahnt und dadurch einen Durchbruch der oberen Sand- und Schlammschicht verursachen kann. Solche Durchbrechungen können ausserdem noch durch zu grosse Wassergeschwindigkeit, sowie durch vom Wasser eingeführte Fremdkörper, tote und lebende, wie Fische und Würmer, die in den Sand absinken, veranlasst werden. Umgekehrt kann auch durch Verstopfung der oberen Sandschicht ein ungleichmässiger Durchgang des Wassers entstehen, und zwar werden solche Verstopfungen sehr gefördert, wenn das Korn des Filtersandes derart ungleich ist, dass die kleineren Körner zwischen die grösseren hineingedrückt werden können.

Der Verlauf der Sandfiltration besteht darin, dass sich die Unreinigkeiten des Wassers zunächst an der Oberfläche des Sandes absetzen, diese verlegen auf geringe Tiefe von einigen Centimetern, ohne jedoch dadurch den Wasserdurchgang zu verhindern. Je mehr diese Verlegung zunimmt, desto wirksamer ist die Reinigung beim Durchgange des Rohwassers; deshalb erhält man aus eben erst abgeschältem oder frisch eingelegtem Filtersande kein reines Wasser, sondern erst dann, wenn die oben erwähnte Verlegung der Sandoberfläche schon stattgefunden hat. Je feiner die im Wasser enthaltenen Trübungsstoffe sind und je grösser die Durchgangsgeschwindigkeit im Filter, desto länger dauert es, bis man von einem frischen Filter reines Wasser erhält; je feiner dagegen der obere Filtersand ist, desto eher geht die Verlegung seiner Zwischenräume vor sich und damit die verstärkte Reinigung; die Korngrösse des feinen Sandes soll jedoch mindestens 0,5 mm betragen.

Aus diesem Grunde und auch deshalb, um die im Filter enthaltene Luft auszutreiben, füllt man ein entleertes Filter

von unten langsam mit Reinwasser bis über die oberste Sandschicht etwa 0,10 m und lässt dann von oben Rohwasser zufliessen, am besten schmutziges, welches ruhig darüber stehen bleibt, um seine Sinkstoffe als Decke über dem Sande abzulagern. Je schmutziger das erste über ein Filter gelassene Wasser ist, desto eher erhält man durch die Filtration reines Wasser, weshalb man zu diesem Zwecke, wenn nötig, diese ersten Wasser künstlich verunreinigt.

Hat sich ein Filter so weit verschlammt, dass beim höchsten Überdruck nur noch eine geringe Wassermenge gereinigt durchgehen kann, so muss die verschlammte Sandschicht abgeschält werden; die Dicke dieser Schicht beträgt gewöhnlich 2 bis 3 cm. Nach dem Abschälen lockert man den oberen Sand, welcher durch den Wasserdruck zusammengepresst wurde, durch Umstechen auf 0,25 m Tiefe mit Gabeln und nachfolgendem Einebenen mittels Rechens. Dieses Abschälen der Schlammschicht kann so oft wiederholt werden, bis die obere feine Sandschicht nur noch eine Dicke von 0,25 bis 0,30 m hat; sodann muss neuer gewaschener Sand wieder aufgetragen werden.

Den abgeschälten Sand kann man durch Waschen von Hand oder mittels Maschinen vom Schlamme reinigen und ihn dann wieder verwenden. Die übrigen, gröberen Filterschichten können viele Jahre (15 bis 20 Jahre) unberührt liegen bleiben, bis sie einmal durch frisch gewaschenes Material ersetzt werden müssen. Zu ihrer Auffrischung ist nur nötig, dass man das Filter einigemal im Laufe eines Jahres ganz von Wasser entleert, und durch die Filterschichten von unten nach oben einen lebhaften Luftzug veranlasst und das Filter unter dessen Einwirkung einige Tage stehen lässt; trockene und warme Witterung eignet sich am besten zu dieser Lüftung der Filter. Durch den Luftstrom werden die organischen Stoffe, welche sich in den Filterschichten abgelagert haben oxydiert, zersetzt und durch nachfolgendes Wasser ausgewaschen.

Die Überwachung und Führung des Filterbetriebes erfordert eine regelmässige Aufmerksamkeit und gewissenhafte Behandlung; der Zu- und Ablauf müssen immer im Gleichgewichte

stehen, und ein Überlaufen der Filter ist zu vermeiden. Der Überdruck muss immer der Durchlässigkeit der Filter entsprechend geregelt werden, so dass dabei der Wasserstand über dem Filter immer in seiner bestimmten Höhe erhalten wird.

Die Regelung der Durchgangsgeschwindigkeiten muss ganz allmählich bewirkt werden, durch langsames Öffnen oder Schliessen der Schieber oder Klappen und Schützen; eine ruckweise Änderung der Geschwindigkeit kann die Reinigung des Wassers stören, sogar Durchbrechungen der Schlammschicht veranlassen.

Die Abschälung und Lüftung muss rechtzeitig vorgenommen und die Wiederfüllung mit Wasser und Inbetriebsetzung eines Filters mit der nötigen Vorsicht ausgeführt werden.

Eine verstärkte Filtration hat man an einzelnen Orten auch damit bewirkt, dass man das Wasser, nachdem es schon ein Filter durchlaufen hatte, noch durch ein zweites Filter gehen liess, also noch einer Nachfiltration unterwarf. Die Beförderung des von einem Filter ablaufenden Wassers in ein anderes kann mittels Pumpen oder mittels Heberleitungen zwischen den einzelnen Filtern geschehen. Die Nachfiltration hat den Zweck, sowohl möglichst grosse Reinheit des Wassers zu erzielen, als auch alle Wasserverluste zu verhüten, welche durch das Weglaufen des noch unvollkommen gereinigten Wassers entstehen. Besonders bei der Inbetriebsetzung frischer Filter kommt dieser Wasserverlust in Betracht, da diese Filter in der ersten Zeit nur geringe Reinigungskraft haben. Die hier ablaufenden, noch unreinen Wasser lässt man dann weiter noch ein oder zwei Filter durchlaufen, bis sie den nötigen Grad von Reinheit besitzen. Ausserdem ist die Nachfiltration auch dann empfehlenswert, wenn das Rohwasser infolge der Witterungsverhältnisse besonders viele Sinkstoffe enthält; dies ist in unserem Klima hauptsächlich im Frühjahr und im Herbst der Fall, also zu Zeiten, wo der Wasserverbrauch sein Höchstmass nicht erreicht. Von der Gesamtfilterfläche eines Wassserwerks, welche für den grössten Wasserverbrauch berechnet ist, kann demnach ein Teil zu dieser Jahreszeit für die Nachfiltration verfügbar sein, so dass eine Vergrösserung der Filteranlage zu dem Zwecke der Nachfiltration nicht unbedingt nötig

ist. Ausserdem ist zu berücksichtigen, dass bei wiederholtem Filterprozesse wegen der abnehmenden Trübung des Wassers die Filtergeschwindigkeit dementsprechend auch erhöht werden kann, so dass unter Umständen ein Nachfilter 2 bis 3 mal so viel Wasser in derselben Zeit liefern kann als ein Vorfilter.

Die Wasserbeförderung von einem Filter zu einem anderen mittels Pumpen dürfte sich für die meisten Fälle der Einfachheit wegen empfehlen, indem die Nachfiltration im allgemeinen doch nur zeitweise und dann auch nur für einzelne frisch gefüllte Filter in Anwendung zu kommen hat. Der Kraftaufwand für dieses Überpumpen ist ein verhältnismässig geringer, so dass mit der vorhandenen Maschinenanlage des Wasserwerks auch diese Arbeit ohne Schwierigkeit noch bewältigt werden kann. Es bedarf daher nur einiger Rohrverbindungen zwischen dem Reinwasserbehälter und den Filtern, welche durch eingebaute Schieber nach Bedarf unter einander in Verbindung gesetzt werden können.

Ist dagegen das Rohwasser eines Wasserwerkes überhaupt sehr verunreinigt und zudem noch zeitweise ausserordentlichen Trübungen ausgesetzt, welche längere Zeit andauern, so dass sich die Nachfiltration andauernd auf die gesamte Filteranlage erstreckt, so wird das Überpumpen kostspielig und umständlicher. In diesem Falle kann das System der Heberleitungen, welches in Bremen zur Ausführung kam, empfehlenswert sein. Im Journal für Gasbeleuchtung vom Jahre 1896 gibt Eugen Götze, Oberingenieur, einen ausführlichen Bericht über diese Bremer Einrichtung, woraus ich nachstehend das Wichtigste in Kürze mitteile.

Als Betriebskraft für die Überleitung des Wassers von einem Filter in das andere wird das natürliche Gefälle des Wassers benützt; dies Gefälle wird dadurch gewonnen, dass man den Wasserspiegel des Nachfilters um die gewünschte Druckhöhe absenkt. Man verbindet die einander nächstliegenden Filter, und zwar Reinwasserbehälter und Rohwasserraum wechselseitig, so miteinander, dass jedes Filter *nach* zwei anderen sein Filtrat abgeben, und jedes Filter *von* zwei anderen dasselbe erhalten kann. —

Die Heberleitungen von Filter zu Filter kann man dauernd

oder provisorisch, allenfalls auch nur wenige transportable Leitungen, für beliebige Zusammenstellung ausreichend, anlegen. Baut man sie dauernd ein, so baut man sie wenig tief unter die Erdoberfläche. Die einander nächstliegenden Filter werden durch Heberleitung unmittelbar verbunden. Das Ansaugen der Heber kann bei provisorischen Anlagen durch eine kleine Handpumpe geschehen, oder durch Körtingsche Wasserstrahl-Luftsaugeapparate. An der Einlaufstelle des Hebers in den Rohwasserraum des Nachfilters wird eine Vorrichtung angebracht, damit der Sand von dem ausströmenden Wasser nicht aufgewühlt werden kann. Für die Nachfiltration muss der Wasserspiegel über dem Sande im Nachfilter entsprechend abgesenkt werden, so dass der Überdruck zwischen Vor- und Nachfilter zur Überwindung der bei der Überleitung entstehenden Reibungswiderstände ausreicht; nach dieser Absenkung wird der Heber angesaugt. Ist der Heber in Betrieb, so muss der Ablauf im Nachfilter entsprechend der vom Vorfilter gelieferten Filtratmenge geregelt werden, wenn nicht schon selbstthätige Apparate für diesen Zweck vorhanden sind. Die für die Überleitung erforderliche Druckhöhe schwankt je nach der Geschwindigkeit von 100 bis 600 mm, und die hierzu erforderliche Spiegelsenkung des Nachfilters ist ein Nachteil, welcher dem Hebersystem gegenüber dem Überpumpen anhaftet, indem dabei die Wasserstände der Filter unverändert bleiben. Dagegen verursacht die Heberleitung, sobald sie in Betrieb gesetzt ist, keinen weiteren und ununterbrochenen Arbeitsaufwand wie das Überpumpen.

Bezüglich der Beschaffenheit filtrierten Wassers, wie sie zu Zeiten der Cholergefahr verlangt werden muss, hat das Reichs-Gesundheitsamt folgende Grundsätze aufgestellt:

Das Erzeugnis jedes einzelnen Filters muss täglich untersucht werden und darf auf 1 ccm nicht mehr als 100 Keime enthalten.

Als Nährboden hat bei der bakteriologischen Untersuchung eine 10proz. Fleischwasser-Peptongelatine zu dienen, und die Glasplatten sind bei etwa 20° durch 48 Stunden aufzubewahren, ehe die Kolonienzählung erfolgt.

Jedes Filter muss von der Reinwasserleitung abgesperrt, vollständig entleert und von unten bis zur Sandfläche mit Rohwasser gefüllt werden können.

Eine besondere Reinigung bedürfen die Wasser, welche Eisenoxydul und nebenbei auch noch Schwefelwasserstoff enthalten, welche nicht nur den Geschmack und das Aussehen ungünstig beeinflussen, sondern auch noch zu anderen lästigen Erscheinungen, wie die Wucherung der Crenothrix polyspora und die Okeransätze in Röhren und Gefässen veranlassen. Für die Entfernung des Eisens aus dem Wasser kommt, wenn es sich um grosse Wassermengen handelt, hauptsächlich das Lüftungsverfahren in Betracht, das gewöhnlich noch mit nachfolgender Klärung oder Filtration verbunden ist. Es haben sich für die *Enteisenung* des Wassers in den letzten Jahren verschiedene Methoden in die Praxis eingeführt, die sich, wenn sie den örtlichen Verhältnissen entsprechend zur Anwendung kamen, gut bewährt haben, so dass die Enteisenungsfrage nicht mehr, wie früher, grosse Schwierigkeiten verursacht.

Nachstehend teile ich in Kürze die Beschreibung einiger ausgeführter Enteisenungsanlagen mit.

Das Wasserwerk der Stadt Gladbach hat das Enteisenungssystem nach dem Patent „von der Linde und Dr. C. Hess, Krefeld" ausgeführt, wegen Billigkeit gegenüber anderen Enteisenungsverfahren und geringer räumlichen Ausdehnung der Anlage, ferner weil die Betriebskosten geringe sind.

Die Anlage ist für eine Höchstleistung von 300 cbm Reinwasser in der Stunde berechnet. Das Rohwasser geht durch einen schmiedeeisernen stehenden Kessel, der mit entharzten und chemisch präparierten Holzspänen gefüllt ist; hier findet die vollständige Ausscheidung des im Wasser enthaltenen Eisencarbonats als Eisenoxydhydrat und gleichzeitig eine Feinfiltration in der Weise statt, dass der im Wasser gelöste Sauerstoff von dem Zinnoxyd, mit dem die Filterspäne imprägniert sind, auf das im Wasser enthaltene Eisenoxydul übertragen wird. Das unlösliche Eisenoxydhydrat wird von dem Filter zurückgehalten, so dass das Filtrat krystallklar, ohne jeden Beigeschmack das Filter verlässt.

Die Filtermasse im Kessel ist durch zwei siebartige Böden vom Boden und Oberteil des Kessels getrennt. Der sich sammelnde Oxydschlamm wird durch tägliche Spülungen, wobei das Wasser den Kessel in der der Filtration entgegengesetzten Richtung durchströmt, entfernt. Von Zeit zu Zeit ist eine Reinigung der Filtermasse mittels Waschmaschine erforderlich. Die chemische Wirkung der Filtermasse regeneriert sich ständig, so dass ein Verbrauch von Chemikalien beinahe ausgeschlossen ist.

Zur Lieferung von stündlich 300 cbm Reinwasser sind 11 Filterkessel von 1250 mm lichtem Durchmesser und 2,50 m Höhe aufgestellt in zentraler Anordnung. Ein Verteilungskasten mit einer 425 mm weiten Zuleitung des Rohwassers verteilt dieses durch 11 radial abgehende 150 mm weite Flanschenröhren oben auf die Filter; in gleicher Weise ist das Reinwasser von den unteren Kesselböden in einen Sammelkasten abgeleitet.

Das Grundwasser enthält 2,3 mg Eisen auf 1 l, und bei 10stündiger Arbeit eines Filterkessels genügt eine dreimalige Spülung desselben täglich. Ein teilweiser Ersatz der Filterspäne erfolgt nach 2monatlicher Betriebsdauer; eine ganze Behälterfüllung beträgt 1500 kg Späne und der Ersatz nach 2 Monaten 250 kg. Der Wasserverbrauch zur Spülung beträgt etwa 15 % der Wasserförderung. Der Druckverlust infolge des Filterns ist mit 0,4 Atmosphären in Anschlag zu bringen. (Näheres darüber siehe Deutsche Bauzeit. Nr. 92 v. J. 1898.)

Die Stadt Kiel wird mit Grundwasser versorgt, das einen Eisengehalt von 2 bis 6 mg aufweist. Die Enteisenungsanlage ist für täglich 15 000 cbm Reinwasser angelegt und besteht aus Lüfter und Filter.

Die Einrichtung der Lüfter ist derart, dass das Rohwasser gleichmässig über eine 3,0 m hohe Schicht grober Koksstücke von rund 200 qm Grundfläche verteilt wird und durch diesen Koks hindurchrieselt. Die Koksschicht ist in einem Gebäude mit 8 Abteilungen von je 25 qm Fläche untergebracht, und unter diesen 8 Lüftern liegen Absetzbehälter. Der Koks ruht auf eisernen Rosten, welche den Durchzug von Luft von unten her durch die Koksschicht gestatten; in den Umfangmauern des Lüftergebäudes

sind in Höhe der Roste eine grössere Anzahl mit Gitter versehene Öffnungen, welche von aussen Luft einlassen. Die 600 mm weite Zuleitung mündet über den Lüftern und giesst das Rohwasser in einen achteckigen gusseisernen Behälter, über dessen 8 Überfälle von gleicher Breite und Höhe das Wasser auf die Lüfter gelangt. Jeder der 8 Lüfter hat eine Hauptzuflussrinne, vor deren Mitte quer über den Lüfter eine Verteilungsrinne liegt, aus welcher das Wasser auf eine darunter liegende Wellenblechdecke fällt, deren Wellenlinien senkrecht zur Richtung der Querrinne stehen. Querrinne, sowie die Thäler des Wellenbleches sind seiherartig gelocht, so dass das Wasser, gleichmässig über die Koksfläche verteilt, auf den Koks niederrieselt. Durch Absperrvorrichtungen können einzelne Lüfter ausgeschaltet werden.

Der Absetzbehälter unter den Lüftern besteht aus 2 Abteilungen, wovon jede das Wasser von 4 Lüfterabteilungen aufnimmt; jede Abteilung hat eine Vorkammer, mit der sie an der Sohle in Verbindung steht, so dass das Wasser in der Vorkammer absinkt und in der Klärkammer wieder aufsteigen muss bis zum Überfalle in die Entnahmekammer. Ein Teil des Eisenschlammes wird in den Lüftern und der andere Teil in den Klärbehältern abgelagert, so dass das nach den Filtern gelangende Wasser nur noch $^1/_4$ bis $^1/_6$ des ursprünglichen Eisengehaltes besitzt. Bei 4 mg Eisengehalt muss nach dem Durchgange von 100000 cbm Rohwasser die eine Hälfte der Lüfter gereinigt werden, was durch kräftige Spülung geschieht, indem man zu diesem Zwecke das gesamte Rohwasser durch nur 2 Lüfter fliessen lässt. Um diese grössere Wassermenge über die Lüfter zu verteilen, haben die Verteilungsrinnen an den Seitenflächen, die Wellenbleche in ihrer Scheitellinie grössere Löcher, durch welche das sich stauende Wasser abfliessen kann. Einmal jährlich muss der Koks herausgenommen und gründlich gewaschen werden, wonach er wieder verwendet werden kann. Günstige Wirkung hat die Auflage von Horden aus Weidengeflecht über die Koksfüllung.

Die Entnahmekammer oder der Reinwasserbehälter besteht aus zwei Abteilungen; die eine nimmt das Wasser aus den Klärbecken auf und gibt es durch 5 gleichwertige Überfälle an ihre

Schächte ab, welche die zweite Abteilung der Entnahmekammer zusammensetzen. Jeder dieser Schächte steht durch eine Rohrleitung mit einem Filter in Verbindung; diese Verbindung kann durch eine Absperrvorrichtung in dem Schachte nach Bedarf geregelt oder ganz gesperrt werden. Die Schächte selbst erhalten ununterbrochenen Zulauf durch die Überfälle. Wird ein Filter ausser Betrieb gesetzt, der zugehörige Entnahmeschacht also gesperrt, so füllt er sich bis zum Wasserspiegel des Überfalles, und der Zulauf hört auf. Die Höhe des Wasserstandes in den in Betrieb befindlichen Schächten, der mit demjenigen über den Filtern nahezu gleich ist, kann durch Schwimmer in Verbindung mit einer Skala beobachtet werden.

Die 5 Filter, mit den Längsseiten nebeneinander gereiht, haben je 309 qm Filterfläche bei 21,0 m Länge und 15 m Breite; sie sind mit je 3 Kappen überwölbt und mit Erde überschüttet. Jedes Filter hat eine überwölbte, mit Thor versehene Einfahrt und ein Regulierhäuschen, in welchem durch eine bis 0,30 m über die oberste Sandschicht reichende Zwischenmauer der Wasserstand des Reinwassers ständig auf gleicher Höhe bleibt. Besondere Reguliervorrichtungen für den erforderlichen Filterdruck sind nicht vorhanden, dieser wird dadurch erhalten, dass das Wasser über dem Sande infolge der fortschreitenden Verschlammung entsprechend steigen kann unter Benutzung der Absperrvorrichtungen in den Entnahmeschächten.

Ein Schwimmer mit Skala lässt den jeweiligen Wasserstand über einem Filter im Regulierhäuschen erkennen; in diesem sind auch die Absperrvorrichtungen für Rohwasserzuteilung, Reinwasserableitung und Entleerungsschieber zugänglich.

Die Reinigung des verschlammten Filtersandes wird durch Sandstrahlwäsche bewirkt, die aus 7 mit Druckwasser gespeisten Strahlapparaten besteht.

(Ausführlicheres über das Wasserwerk Kiel findet man im Gasjournal No. 40 d. J. 1896.)

Das Grundwasser der Stadt Leipzig wird durch folgende Einrichtung enteisenet:

Das Wasser fliesst aus einem Sammelbehälter in 7 Kammern von je 18,0 m Länge und 4,0 m Breite, die auf 1,8 m Höhe mit Kies von 4 bis 6 mm Korngrösse angefüllt sind.

Das von oben nach unten durch die Kiesschicht dringende Wasser setzt das Eisenoxyd so lose an dem Kiese ab, dass es durch Rückspülung leicht entfernt werden kann; diese Rückspülung wird dadurch bewirkt, dass man das Wasser in der Kammer sich anstauen lässt, und dann mittels grossen Klappenventils die Kammer schnell entleert. Der erforderliche Betriebsdruck beträgt etwa 0,70 m, unter welchem eine gleichmässige, genügende Reinigung des Wassers durch die Filter erreicht wird.

Ähnlich wie die Leipziger Enteisenung ist auch die durch G. Östen angewendete Methode, wobei das Wasser aus einer Brause 2,0 m hoch als feiner Regen auf den Wasserspiegel des Filters fällt, dessen Wasserdecke je nach der leichteren oder schwereren Fällbarkeit des Eisens zwischen 0,5 bis 2,0 m Stärke schwankt. Sobald die Flockenbildung auf dem Filter durch das sich niederschlagende Eisenoxyd genügend vorgeschritten ist, beginnt auch die Filtration. Die poröse Filterbildung besteht aus Kies; der grösste Filterdruck 0,40 bis 0,50 m und die Filtergeschwindigkeit 1,0 m in der Stunde.

Für die Wasserwerke von San Francisco sind an drei hochgelegenen Punkten der Stadt Anlagen zur Wasserlüftung hergestellt. Das Wasser fliesst durch ein 6,0 m hohes Standrohr, das für eine Tagesleistung von 30 000 cbm eine Lichtweite von 760 mm hat, und sodann durch eine hölzerne Rinne von 0,55 m Tiefe und 1,20 m Breite einer anderen Rinne zu, die 21,0 m lang ist und deren Seitenwandungen an ihrem unteren Teile mit 600 Löchern von 20 mm versehen sind. Das Wasser strömt durch diese Löcher kaskadenartig über treppenartig übereinander angeordnete Plattformen und gelangt dann als Regen in das darunter liegende Sammelbecken. Der senkrechte Raum zwischen den einzelnen Plattformen beträgt etwa 0,90 m, und der Bohlenbelag der letzteren ist mit 3 mm weiten offenen Längsfugen verlegt, wobei jede einzelne Bohle 0,15 m breit ist.

Eine besondere Erwähnung verdient die Plattenfiltration

(System Fischer-Peters), die dem Bedürfnis entsprang, in kleinem Raume eine möglichst grosse Filterfläche zu entwickeln; zu dem Zwecke wird der Filtersand nicht lose, sondern in gepressten, festen Platten angewendet, welche dem Wasser den Durchgang unter dem bei Sandfiltern üblichen Betriebsdruck gestatten. Die Platten werden aus gewaschenem Flusssande mit bestimmtem Gehalte an Natronsilikat in der Grösse von 1,0 qm in Öfen von hohem Hitzgrade gebrannt. Die Platten haben eine Dicke von 0,08 bis 0,09 m und werden paarweise so zusammengeschraubt, dass zwischen beiden ein Abstand von 20 mm bleibt (siehe nebenstehende Skizze Fig. 81).

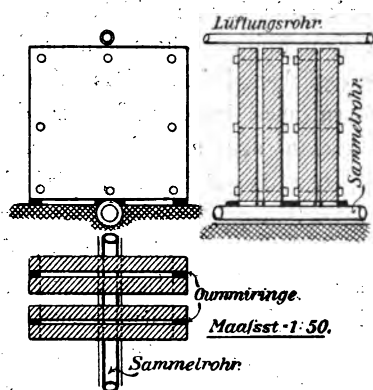


Fig. 81.

Für den Bahnhof in Magdeburg wurde eine derartige Filteranlage ausgeführt, deren ausführliche Beschreibung mit Zeichnungen im „Gesundheitsingenieur“ Nr. 21 v. J. 1894 enthalten ist.

Diese Anlage besteht aus 4 Rohwasserkammern mit den Filterelementen und den Sammelröhren, ferner aus einer Ausgleichkammer mit einer selbstthätigen Schwimmerreguliervorrichtung nebst Auszugrohr.

Je zwei zusammengeschraubte Platten bezeichnet man als ein Element; es befinden sich in jeder Rohwasserkammer 252 Stück Elemente, die in 6 Batterien von je 42 Elementen geteilt sind. Die ganze Anlage besteht demnach aus 1008 Elementen mit 2016 qm Filterfläche. Je zwei Elemente sind mittels Gummiring aufeinander gedichtet, in aufrechter Stellung aufeinandergestellt. Die untern Elemente sitzen auf dem Sammelrohre, mittels Gummiring durch ihr Eigengewicht abgedichtet; die obern Elemente erhalten einen mit einem Stückchen galvanisiertes Rohr verbundenen Gummistopfen mit Loch für die Entlüftungsleitung. Jede Batterie hat eine Entlüftungsleitung mit Messinghähnchen, und sämtliche

Lüftungsleitungen haben ein gemeinschaftliches Wasserstandsrohr zur Beobachtung des Filterdruckes.

Behufs Inbetriebsetzung werden zunächst sämtliche Schieber geschlossen und die Lufthähne geöffnet, damit bei der Füllung die Luft aus den Elementen entweichen kann, sodann der Rohwasserschieber geöffnet, damit sich die Rohwasserkammern bis 1,20 m über Oberkante des oberen Elementes füllen; hierauf werden die Batterieschieber etwas geöffnet, bis die Wasserspiegel in den Rohwasserkammern und der Ausgleichkammer sich fast ausgeglichen haben. Das Wasser dringt durch die Platten von aussen nach innen und setzt den Schlamm an den Flächen der Elemente ab; aus den Elementen, d. h. aus dem Hohlraum zwischen den 2 Platten, wird das filtrierte Wasser nach unten in die Sammelröhren geführt, aus denen es am Batterieschieber ausläuft. Ist dies im Gange, dann werden die Lufthähne geschlossen und die Druckregelung eingestellt, womit der Betrieb seinen weiteren Verlauf nehmen kann. Die Reinigung kann, sobald es nötig, batterieweise vorgenommen werden, durch Einlassen von Druckwasser in entgegengesetzter Richtung, von innen nach aussen; die vom Wasser abgestossenen Unreinigkeiten fallen grösstenteils zu Boden. Der Druck zum Reinigen der Elemente muss mindestens doppelt so gross sein, als der Filterdruck.

Die selbstthätige Vorrichtung zum unveränderlichen Abschluss des Reinwassers besteht darin, dass die Überfallkante an einem beweglichen Rohre sitzt, welches von einem Schwimmer im Reinwasserbehälter getragen wird. Damit die durch den Abfluss abgehende Reinwassermenge immer dieselbe bleibt, muss die Höhe, in welcher das Wasser über die bewegliche Rohrkante fällt, auch stets gleich gross sein. Diese Überfallhöhe ist jedoch überhaupt nicht gross, so dass kleine Unterschiede schon einen wesentlichen Einfluss auf die Abflussmenge haben. Der Schwimmer erhält deshalb einen sehr grossen Querschnitt, wodurch er jeder Veränderung des Wasserspiegels im Reinwasserbehälter unter Mitnahme des beweglichen Rohres folgen kann. Durch eine Schraubenspindel kann die Entfernung des Schwimmers für jede beliebige Abflussmenge eingestellt werden; sobald nun die Filterplatten im Ver-

laufe des Betriebes wegen der Verlegung ihrer Poren einen wachsenden Betriebsdruck verlangen, um noch dieselbe Wassermenge zu reinigen, nimmt zunächst die gelieferte Reinwassermenge ab, der Spiegel im Reinwasserbehälter sinkt, und damit wächst der Betriebsdruck, und dieses Sinken des Wasserspiegels im Reinwasserbehälter geht so lange fort, bis die Leistung des Filters der Abflussmenge wieder entspricht, da letztere immer unveränderlich bleibt. Nebenstehend ist in Fig. 82 diese Vorrichtung skizziert; sie unterscheidet sich von den für Sandfilter üblichen Vorrichtungen dadurch, dass sie die Abflussmenge unveränderlich erhält, während die anderen den Zweck haben, den Betriebsdruck unveränderlich zu erhalten.

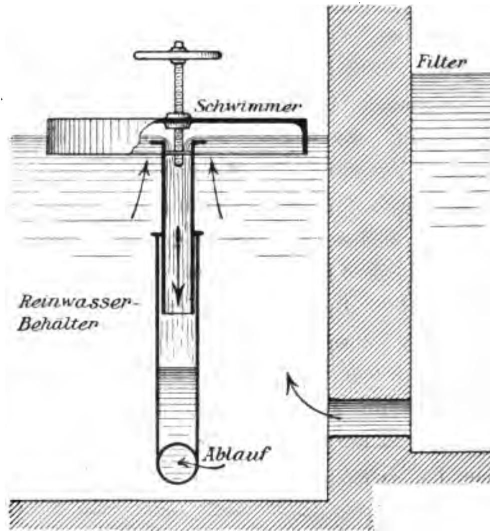


Fig. 82.

Ein Einzelfilter für Wasser, welches nur zeitweise einer Reinigung bedarf, ist in Fig. 83 (Tafel VIII) mit Längenschnitt und Grundriss gezeichnet. Das Filterbecken hat zwei Vorkammern, welche als Klärbecken dienen; in der ersten sinkt das Wasser abwärts und gelangt durch Öffnungen über der Sohle in die zweite, wo es aufwärts steigt und über die auf die ganze Breite des Beckens sich erstreckende wagrechte Überfallkante in das Filterbecken sich ergiesst. Am entgegengesetzten, unteren Ende des Filterbeckens wird das Wasser durch ein auf der Sohle mündendes Rohr in die Reinwasserkammer geleitet; die Überfallkante des Ablaufrohres liegt etwa 0,10 m höher als die Oberfläche des Filtersandes, und die Höhe des Wasserüberdruckes kann

durch einen in dies Ablaufrohr eingebauten Schieber, der fortschreitenden Verschlammung entsprechend, geregelt werden. Ist das Filter frisch eingefüllt, findet also das Wasser hier wenig Widerstand beim Durchgange, so wird der Schieber nur so wenig geöffnet, bis der Widerstand beim Durchgange durch den Schieber so gross ist, dass auch jetzt der Überdruck verbraucht wird, wie er vorgesehen ist durch die Lage der Überfallkante des Ablaufrohres und die entsprechende Höhe des Wasserstandes über dem Sande. Wachsen die Widerstände beim Durchgange durch den Sand wegen dessen Verschlammung, so wird allmählich und langsam der Schieber in gleichem Masse weiter geöffnet. Die Klärkammern haben besondern Leer- und Überlauf; die Reinwasserkammer kann durch die Ableitung entleert werden. Für den Fall, dass das Filter ausgeschaltet werden soll, ist eine mit 2 Schiebern sperrbare Umgangsleitung vorgesehen. Durch diese Umgangsleitung kann auch die Füllung des entleerten Filters mit Rohwasser von unten nach oben bewirkt werden. An den Innenseiten der Umfangsmauern steigen Sohlenentlüftungen bis über den höchsten Wasserstand auf; und vom Gewölbescheitel gehen Lüftungsröhren des Rohwasserraumes bis 1,0 m über die Erdüberdeckung. Zugänglich sind die Kammern durch Einsteigschachte und das Filterbecken durch die 3 weiten Öffnungen oberhalb der Scheidewand der Reinwasserkammer.

Ein Doppelfilter, d. h. zwei Filter nebeneinander, nur durch Scheidemauer bis über den höchsten Wasserstand getrennt, ist in Fig. 84 (Tafel IX) durch Grundriss, Längen- und Querschnitt im Bruchstück gezeichnet. Die den beiden Filtern vorgelegte Reinwasserkammer ist durch eine bis über die Überfallkante der Ablaufröhren reichende Scheidemauer in zwei selbständige Behälter getrennt, woran jeder die zu einem Filter gehörigen Zuleitungen, Ablauf-, Über- und Leerlaufröhren mit ihren Absperrschiebern enthält. Von der Zuleitung ist in jedem Reinwasserbehälter ein mit Schieber versehener Auslauf abgezweigt, womit diese Behälter eine Füllung von Rohwasser erhalten können, welche zur Füllung des entleerten Filters von unten dient. Der Ablauf aus dem Filter hat hier auch eine feststehende Über-

fallkante in der Höhe der Oberfläche des Filtersandes; die Drosselung des Ablaufes zur Regelung des Betriebsdruckes wird hier nicht durch einen Schieber, wie bei dem in Fig. 83 dargestellten Einzelfilter, vorgenommen, sondern durch ein in die Auslaufmündung tauchendes Schwimmerventil, wie es in Fig. 85 skizziert ist.

Die Ausmündung der Ablaufrohre ist trichterförmig gestaltet, und in diesem Trichter befindet sich ein Holzkegel, der sich

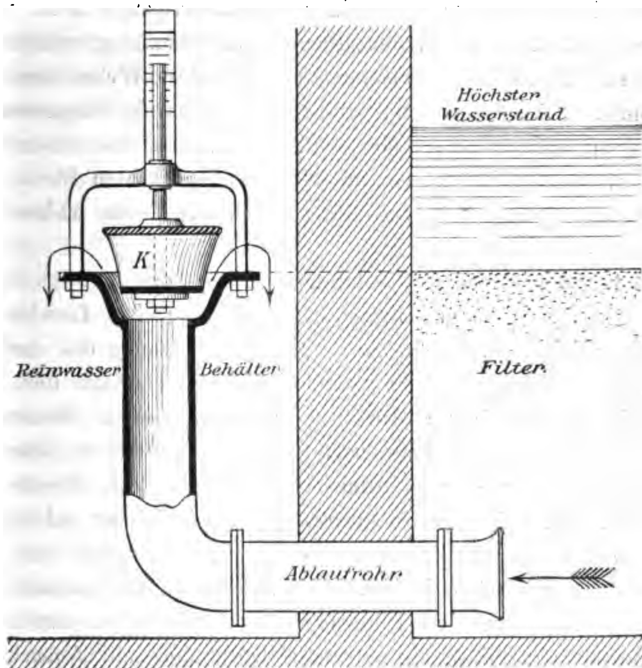


Fig. 85.

mittels eines polierten Messingrohres, geführt durch einen eisernen Bügel, senkrecht und konzentrisch zum Trichter auf und ab bewegen kann. Die Unterfläche des Kegels ist mit einer Lederscheibe bekleidet, welche, wenn der Kegel auf dem innern abgedrehten Rande des Trichters aufsitzt, als Abdichtung der Ablaufmündung dient. Das Gewicht des Holzkegels mit seiner Ausrüstung darf nur so gross sein, dass selbst in dem Falle, wenn

der Filter an der Grenze seiner Leistung anlangt, das ablaufende Wasser noch imstande ist, den Kegel oder das Schwimmerventil so weit zu heben, dass genügend Raum für den Ablauf an der Überfallkante entsteht. Ist das Filter frisch aufgefüllt, und sind daher die Widerstände im Sande nur gering, so müssen dem Kegel so viel Gewichte (Eisen- oder Bleiplatten) aufgelegt werden, dass unter Festhaltung des vorgesehenen Wasserstandes über dem Sande die dem Filter zugeführte Rohwassermenge auch wieder ablaufen kann. Mit fortschreitender Verschlammung werden entsprechend Gewichte abgenommen, um auf diese Weise immer den genannten Filterwasserstand zu erhalten. Durch übergrosse Belastung des Ventils kann der völlige Abschluss des Ablaufes bewirkt werden. Mittels der am Ventil angebrachten Skala kann die einer bestimmten Gewichtsauflage entsprechende Ablaufmenge erkannt werden.

Die Reinwasserkammer des Doppelfilters der Fig. 84 hat für jede Abteilung einen Über- und Leerlauf; der Leerlauf des Filters geschieht durch das Ablaufrohr nach Öffnung des darin am unteren Ende angebrachten Schiebers; der Ueberlauf der Filter vollzieht sich durch die über den Scheidewänden der Reinwasserkammer befindlichen Öffnungen, deren Sohle unter Oberkante der Hauptscheidemauer zwischen beiden Filtern liegt. Der Wasserstand in den Filtern wird durch einen Schwimmer bei den genannten Oeffnungen sichtbar gemacht. Den Zugang zur Reinwasserkammer ermöglicht ein gewöhnlicher Einsteigeschacht; die Einsteigöffnung zu den Filtern befindet sich über der Hauptscheidemauer und hat, da sie zugleich zur Ein- und Ausbringung des Filtermaterials zu dienen hat, eine Weite von 2,0 m im Geviert. Bei grosser Ausdehnung der Filterfläche werden auch noch an den Umfangmauern Einsteig- nrd Reinigungsöffnungen angebracht, die unter Umständen auch als Ein- und Ausfahrten ausgebildet sein können.

Die übrigen, zahlreichen Verfahren zur Reinigung des Wassers kommen gewöhnlich nur für kleinere Wassermengen und für besondere Zwecke, z. B. Reinigung des Wassers zur Kessel-

speisung, Reinigung der städtischen Schmutzwasser u. dgl. in Betracht, sind also hier nicht zu berücksichtigen. Nur einige, welche auch Wasserversorgungszwecken dienen, seien hier erwähnt:

Reinigung des Wassers durch Berührung mit Eisen in wagrechten Trommeln, die sich langsam um ihre Achse drehen und dadurch die darin enthaltenen Eisenbrocken im durchfliessenden Wasser herumschütteln. Das Wasser bleibt 5 Minuten mit dem Eisen in Berührung, so dass für eine tägliche Leistung von 1000 cbm Reinwasser ein Trommelinhalt etwa 4 cbm erforderlich ist. Nach dem Schütteln in der Trommel muss das Wasser noch einer Lüftung unterworfen werden, um das entstandene Eisenoxydul zu oxydieren und auszufällen. Die Lüftung geschieht durch Koksrieseler mit Kaskadenverteilung, oder Kiesrieseler, wonach noch eine Klärung und Sandfiltration erforderlich ist.

Der Kröhnkesche Patent-Sandfilter besteht aus einer wagrecht in zwei Achsen drehbaren, an beiden Enden geschlossenen Trommel als Filtergehäuse, im Innern durch Vertikalwände in scheibenförmige Kammern geteilt, die abwechselnd mit Sand und Wasser gefüllt sind. Die Wasserkammern sind mit je einer der Hohlachsen so verbunden, dass eine bestimmte Anzahl Kammern Rohwasser durch die eine Hohlachse empfängt, während die anderen Wasserkammern filtriertes Wasser durch die andere Hohlachse abgeben.

Zwischen Rohwasser- und Reinwasserkammern liegen die Filterscheiben aus Sand zwischen feinen Messinggeweben. Eine Filtertrommel von 1,0 m Durchmesser mit 2 Filterkammern hat eine mittlere Leistung von 13,0 cbm in der Stunde bei 1 mm Korngrösse des Sandes. Kröhnkes Enteisenungsverfahren besteht darin, dass das Rohwasser in Behälter gefüllt und dort chemischen Zusätzen unterworfen wird, welche das Eisen in kurzer Zeit ausfällen, wonach eine Filtration durch Sand zu folgen hat.

Um die Bakterien durch Wasser völlig zu zerstören, wird für kleine Bedürfnisse das Wasser abgekocht; salzhaltige Wasser können nur durch Destillation gereinigt werden, wie z. B. das Meerwasser auf diese Weise trinkbar gemacht wird.

Die Schiffe sind zu diesem Zwecke mit Kesseln zur Verdampfung des Wassers und mit Kondensationsapparaten zur Verdichtung der Dämpfe ausgestattet, welch letztere Kühlschlangen sind, die in fliessendem Wasser liegen.

Achter Abschnitt.

Wasserbehälter zur Ausgleichung der Schwankungen im Wasserzulauf und im Wasserverbrauche.

Schwankungen im Wasserzulaufe ergeben sich, wenn das Wasser aus einem beschränkten Quellen- und Grundwassergebiete entnommen wird, aus der zeitlichen Mehr- oder Minderleistung bei dem Wechsel der Witterung und der Jahreszeiten und erstrecken sich demnach die Mehr- oder Minderleistungen auf mehrere Tage und Wochen, sogar Monate. Im allgemeinen fällt die dauernde Mehrleistung der Grundwasser und ihrer Quellen in unserem Klima in den Spätherbst und ins Frühjahr, wo, im Gegensatze dazu, der Wasserverbrauch in den Städten nicht sehr gross ist, so dass der Überschuss im Entnahmegebiete doppelt fühlbar wird. Die vom Witterungswechsel herrührenden Unterschiede der Wasserlieferung sind wie die Witterung gewöhnlich von kurzer Dauer und fallen öfter in den Sommer, wo zugleich der Wasserbedarf am höchsten ist. Die Aufspeicherung der in den nassen Jahreszeiten sich ergebenden Überschüsse wird mittels ober- oder unterirdischer Thalsperren bewirkt, welche bei den Wassergewinnungsanlagen besprochen wurden; die Ansammlung kleinerer Schwankungen kann in künstlichen Becken von entsprechender Grösse geschehen, die jedoch mit Rücksicht auf die Anlagekosten im Verhältnis zum Wassergewinne eine beschränkte ist. Örtliche Verhältnisse sind in diesem Falle bestimmend; wo grosser Wassermangel ist und das Wasser einen sehr hohen Wert hat, können auch grosse Opfer für dessen Ansammlung gebracht werden. Die Grösse

der Sammelbehälter ist, dem Wasserverbrauche entsprechend, so zu berechnen, dass die gesammelten Überschüsse genügen, um den Bedarf in den trockenen Zeiten befriedigen zu können. Ist z. B. erfahrungsgemäss während n Tagen ein Fehlbetrag in der Wasserzuleitung gegenüber dem Wasserbedarf von täglich W cbm vorhanden, im ganzen also n . W cbm, so muss der Sammelbehälter imstande sein, vor Eintritt dieser trockenen Zeit aus den vorhergegangenen Überschüssen mindestens n . W cbm aufzuspeichern.

Ist der Wasserreichtum des Entnahmegebietes so gross, dass auch zu den Zeiten des grössten Bedarfes genügend Wasser vorhanden ist, so sind durch den täglich wechselnden Verbrauch zeitweiser Mehr- oder Minderverbrauch gegenüber der Wasserzuleitung bedingt. Ist die Wasserzuführung eine ununterbrochene und mit Bezug auf den Verlauf eines Tages auch ziemlich gleichmässige, so werden im Laufe eines Tages während mehrerer Stunden Überschüsse aus der Zuleitung sich ergeben, und während anderer Stunden wird der Zulauf den Bedarf nicht decken; es muss daher der nötige Sammelraum vorhanden sein, um das überschüssige Wasser für die Zeiten des Mehrbedarfes aufzubewahren. Für die Grösse dieses Sammelraumes ist der grösste Tagesverbrauch im Jahre mit seinem grössten Stundenverbrauche massgebend, wobei noch zu beachten ist, dass der grösste Tagesverbrauch in den Sommer fällt, wo gewöhnlich die Wasserzuleitung am schwächsten ist.

Bezeichnet man den im Jahresdurchschnitt sich ergebenden, mittleren Tagesverbrauch mit T_m, so ist für deutsche Verhältnisse der grösste Tagesverbrauch $= T_g = 1{,}5 \cdot T_m$.

Ausserdem ist an trockenen Sommertagen der Verbrauch während der Zeit von morgens 6 Uhr bis abends 6 Uhr annähernd dreimal so gross, als von 6 Uhr abends bis 6 Uhr morgens; demnach bei Tag in 12 Stunden $0{,}75 \cdot T_g = 1{,}125 \cdot T_m$ und bei Nacht in 12 Stunden $= 0{,}25 \cdot T_g = 0{,}375 \cdot T_m$.

Wird durch die Zuleitung der grösste Tagesverbrauch $= 1{,}5\, T_m$ innerhalb 24 Stunden gleichmässig zugeführt, so sind davon während der Nachtzeit $(0{,}75-0{,}375)\, T_m = 0{,}375\, T_m$ aufzuspeichern für

den Mehrverbrauch des Tages. Für einen Tagesverbrauch im Mittel von 1000 cbm müsste daher zur Ausgleichung der Verbrauchsschwankungen im Verlaufe eines Tages der Inhalt des Sammelbehälters mindestens ründ 400 cbm betragen. Nun ist aber noch weiter zu berücksichtigen, dass auch der oben angegebene Höchstverbrauch von 1,5 . T_m manchmal noch überschritten werden kann, sowie andrerseits auf einen heissen, trockenen Tag ein kühler und nasser folgen kann, an welchem nur die Hälfte des Höchstbedarfes sich ergibt, also ein Überschuss über die Zuführung von 0,75 T_m, dessen Bereithaltung wirtschaftlich ratsam ist; ferner ist auch darauf zu sehen, dass der Vorrat im Sammelbehälter nie ganz aufgezehrt wird, sondern immer noch etwa $^1/_4$ des Inhaltes zurückbleibt und nur $^3/_4$ zur Aufnahme neuer Zuflüsse dienen können; ferner ist von Bedeutung, dass nötige Ausbesserungen an der Zuleitung den Zufluss auf etwa einen Tag unterbrechen können, für welchen Fall also einiger Vorrat vorhanden sein muss. Aus diesen Gründen gibt man den Sammelbehältern meist eine solche Grösse, dass ihr Inhalt gleich ist dem durchschnittlichen Tagesverbrauche T_m.

Wird das Wasser in den Sammelbehälter mittels Pumpwerks befördert, so hat man es in der Hand, den Pumpenbetrieb nach Bedarf zu regeln und so den Vorratsraum auf das geringste Mass zu bringen.

Jede Pumpe hat eine ihrer grössten Nutzleistung entsprechende bestimmte Fördermenge, die man ohne Nachteil nicht wesentlich ändern kann. Besteht das Pumpwerk aus zwei Pumpen, wovon eine in Bereitschaft stehen bleibt, so hat eine Pumpe den täglichen Wasserbedarf zu decken; beträgt ihre günstigste Fördermenge in der Stunde $\frac{T_m}{n}$, so muss die Pumpe bei dem grössten Tagesverbrauche $= T_g = 1{,}5 T_m = n . 1{,}5$ Stunden täglich in Betrieb sein, um den höchsten Tagesbedarf zu liefern. Ist für die Pumpen nur Tagesbetrieb von 12 Stunden eingeführt, um nicht doppelter Maschinenbedienung zu bedürfen, so muss die Pumpe stündlich $\frac{1{,}5 . T_m}{12}$ liefern; arbeitet die Pumpe von morgens 6 Uhr bis abends

6 Uhr, so werden in dieser Zeit von dem gepumpten Wasser schon $^3/_4$ verbraucht, und $^1/_4$ ist in dem Sammelbehälter für die Nachtzeit zurückzuhalten mit $\frac{1,5 \cdot T_m}{4}$ cbm. Für 1000 cbm mittleren Tagesverbrauchs würde demnach ein Vorratsraum von mindestens 400 cbm erforderlich sein. Der grösseren Betriebssicherheit wegen wird man aber auch hier gut thun, den Vorratsbehälter über dies Mindestmass hinaus zu erweitern.

Führt man Tag- und Nachtbetrieb der Pumpen ein mit zwei Pumpen, wovon eine in Bereitschaft steht, so ist die Leistung einer Pumpe, für den grössten Tagesverbrauch berechnet, in der Stunde $\frac{1,5\ T_m}{24}$; da aber von 6 Uhr morgens bis 6 Uhr abends $^3/_4 \cdot 1,5 \cdot T_m$ verbraucht werden, so muss die Pumpenförderung während dieser Zeit noch $^1/_4 \cdot 1,5\ T_m$ Zuschuss aus dem Vorrat erhalten; der Inhalt des Sammlers muss also auch hier für 1000 cbm durchschnittlichen Tagesverbrauchs mindestens 400 cbm betragen. Mit 3 Pumpen, wovon jede stündlich $\frac{T_m}{24}$ liefern kann, kann man, wenn zwei davon in Betrieb sind, den Maximal-Tagesverbrauch fördern in 18 Stunden, wenn zwei Pumpen 12 und die eine davon 24 Stunden in Betrieb steht. Während des 12stündigen Betriebes zweier Pumpen von 6 Uhr morgens bis 6 Uhr abends würden T_m cbm gefördert und $^3/_4 \cdot 1,5 \cdot T_m = 1,125\ T_m$ cbm verbraucht, so dass noch ein $^1/_8\ T_m$ aus dem Vorrat entnommen werden müsste. Der Inhalt des Sammelbehälters wird in diesem Falle auf ein Mindestmass von 200 cbm gebracht für 1000 cbm Tagesverbrauch.

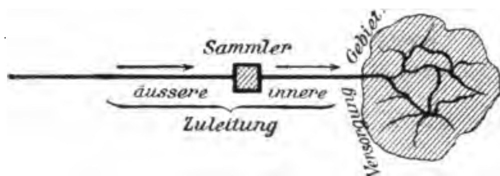
Durch Vervielfältigung der Pumpenanlage mit Tag- und Nachtbetrieb kann man eine Leistung derselben erzielen, welche sich den Schwankungen des Tagesverbrauchs möglichst nahe anschliesst und einen grösseren Vorratsbehälter in dieser Beziehung entbehrlich macht. Mit Rücksicht auf die Sicherheit ununterbrochener Wasserversorgung ist jedoch unter allen Umständen ein möglichst grosser Vorratsraum sehr wünschenswert.

Die Lage der Sammler ist selbstverständlich am zweck-

mässigsten mitten im Versorgungsgebiete, was jedoch aus örtlichen Gründen nur selten möglich ist; man findet sie daher im allgemeinen in der Nähe der zu versorgenden Orte auf entsprechenden Anhöhen, oder am äusseren Umkreise dieser Orte.

Je nach der Lage eines geeigneten Aufstellungsortes zu den Örtlichkeiten der Wasserentnahme und der Zuleitung liegt der Sammelbehälter *vor* oder *hinter dem Versorgungsgebiete*; im ersten Falle (Fig. 86) endigt die Zuleitung im Sammler, und von diesem bis zum Verteilungs - Rohrnetz ist eine besondere Zuleitung anzulegen. Die *äussere* Zuleitung erhält einen Durchgangsquerschnitt, welcher der Meistlieferung *aus dem Entnahmegebiete* entspricht; die *innere* Zuleitung einen solchen, welcher *dem höchsten Stundenverbrauche* bei dem grössten Tagesverbrauche genügt, nämlich 1,5 . 1,5 T_m = 2,25 T_m.

Fig. 86.



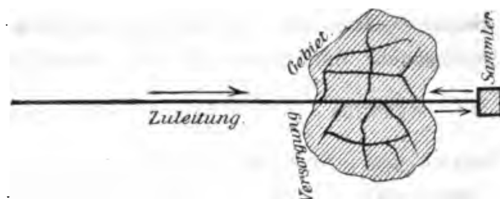


Fig. 87.

Liegt dagegen der Sammler *hinter* dem Versorgungsgebiete (Fig. 87), dann durchzieht die Zuleitung einen Teil dieses Gebietes, und dient hier schon als Hauptleitung des Verteilungsnetzes, so dass das Verbrauchswasser unmittelbar aus der Zuleitung zu den Verbrauchsorten gelangt und nur der etwa nicht abgegebene Teil des zugeführten Wassers den Inhalt des Sammlers vermehrt. Ist sogar der Bedarf zeitweilig grösser als der Zufluss durch die Zuleitung, dann muss aus dem Vorrat im Sammler der Fehlbetrag zufliessen. Die Strecke der Zuleitung vom Sammler bis *in* das Versorgungsgebiet leitet daher das Wasser je nach den Bedarfsverhältnissen in zwei verschiedenen, einander entgegengesetzten Richtungen.

Der Durchgangsquerschnitt der Zuleitung ist in diesem Falle bis zum Sammler für die Höchstlieferung aus dem Entnahmegebiete zu bemessen; eine besondere Zuleitung zum Versorgungsgebiete ist hier nicht erforderlich, und die Zuleitung innerhalb des Versorgungsgebietes muss auch nicht für den höchsten Stundenverbrauch von 2,25 T_m berechnet werden, weil hier das Wasser dem Versorgungsgebiete von zwei Seiten, vom Sammler und von der Zuleitung, zugeführt werden. Wenn daher z. B. der Sammler hinter dem Versorgungsorte möglichst nahe demselben angelegt werden kann, während die Lage vor dem Sammler eine lange innere Zuleitung erfordern würde, so ist die letztgenannte nicht nur teurer als die erste, sondern auch nicht so zweckmässig. Bei der Lage vor dem Versorgungsorte gelangt das Wasser erst nach längerem Aufenthalte im Sammler an die Bedarfsstellen, während bei der Lage hinter diesem Orte das Wasser unmittelbar aus der Zuleitung des Entnahmegebietes dem Verbrauche zugeführt wird; auch ist die Verteilung des Wasserdruckes über das Versorgungsgebiet eine gleichmässigere, wenn diesem das Wasser von zwei entgegengesetzten Seiten statt nur von einer Seite zufliessen kann; denn wenn der Sammler vor dem Orte, dann liegt der Mindestdruck an dem der Zuleitung entgegengesetzten Ende des Ortes, während bei der Lage des Sammlers hinter dem Orte der Mindestdruck in der Mitte des Ortes, zwischen Sammler und Eintritt der Zuleitung in das Versorgungsgebiet, liegt; auch ist in diesem Falle eine Unterbrechung der Zuleitung durch Schadhaftwerden und Ausbesserungsarbeiten für die Wasserversorgung nicht so störend, weil immer noch Wasser aus dem hinterliegenden Sammelvorrat bezogen werden kann, während bei Unterbrechung der inneren Zuleitung eines vorliegenden Sammlers dessen Wasservorrat auch nicht mehr zugänglich ist.

Wenn das Versorgungsgebiet eine grosse Ausdehnung hat und dadurch die Druckverminderungen am Umkreise des Ortes sehr empfindlich werden bei vorliegendem Sammelbehälter, dann werden häufig noch ein oder mehrere Sammelbehälter dem vorliegenden entgegengesetzt im Versorgungsgebiete selbst oder gleich hinter demselben angelegt, welche ausser der Ansammlung überschüssig

gelieferten Wassers den Zweck haben, dem ihnen zunächstgelegenen Teile des Versorgungsgebietes Wasser zuzuführen, sobald hier der Wasserdruck ein gewisses Mindestmass erreicht; diese Sammler wirken also zugleich als Druckregler, und man kann sie als Ausgleichungssammler bezeichnen. Die Höhenlage dieser Druckausgleicher muss ihrer Entfernung vom Hauptsammler entsprechend etwas niedriger als die des letztgenannten sein.

Solche Ausgleichungsbehälter werden oft auch nötig, wenn das Sammelgebiet in seinen einzelnen Teilen erheblich verschiedene Höhenlagen aufweist, so dass z. B. der Wasserdruck für die niedrig gelegenen Teile ein verhältnismässig sehr hoher würde, wenn er gleichzeitig auch noch den hochgelegenen Teilen genügen sollte.

Wird das Wasser mittels natürlichen Gefälles zugeleitet, also ohne besondere Kosten für Hebung des Wassers, dann erhält der Hauptsammler eine Höhenlage, welche für die Versorgung der höchstgelegenen Stadtteile genügt und diesen möglichst genähert ist. Die tiefgelegenen Stadtteile erhalten einen ihrer Höhenlage entsprechenden besonderen Niederdrucksammler, der das Wasser, je nach den örtlichen Verhältnissen, unmittelbar aus dem Hochdrucksammler und dessen Zuleitung oder aus einer Hochdruckverteilungsleitung erhält; jedenfalls hat der Zufluss immer den Hochdruck, welcher durch den Einlauf in den Niederdrucksammler verringert wird.

Muss das Wasser erst künstlich gehoben werden, um es dem Versorgungsorte mit genügender Druckhöhe zuführen zu können, so erhalten die hochgelegenen Stadtteile als Hochdruckzone einen besonderen Sammelbehälter mit eigenem Druckrohre, und ebenso die niedrig gelegenen Teile als Niederdruckzone. Massgebend ist dabei immer der Kostenpunkt bezüglich der baulichen Anlage und des Betriebes. Übersteigen die Verzinsung und Amortisation der Mehrkosten einer Zonenteilung erheblich die Differenz der Betriebskosten zwischen der Zonenanlage und einer einheitlichen Anlage, dann ist es besser, letztere zu wählen, selbst auf die Gefahr hin, dass dadurch das Rohrnetz der niederen Stadtteile einige

Atmosphären mehr Wasserdruck auszuhalten hat, als dies gewöhnlich der Fall ist.

Die Höhenlage eines Sammelbehälters gegenüber dessen Versorgungsgebiet muss mindestens eine solche sein, dass das Wasser in den entferntesten und höchstgelegenen Stadtteilen noch eine Druckhöhe besitzt, womit es noch in die obersten Stockwerke der Häuser geleitet werden kann und zu Feuerlöschzwecken verwendbar ist. Diese Ansprüche sind örtlich sehr verschieden, je nach der Höhe der Häuser und ob zu Löschzwecken das Wasser noch durch Schläuche auf die Dächer der Häuser ausgegossen oder nur zur Spritzenfüllung benutzt werden soll.

Von wesentlichem Einfluss auf die Höhe der genannten Ansprüche an die Druckleistungen des Wassers ist immer die Höhenlage und Entfernung des Wasserentnahmeortes. Kann das Wasser mittels natürlichen Gefälles dem Sammler zugeführt werden, und kann man die Ausmündung der Zuleitung im Sammler in jede wünschenswerte Höhe legen, ohne dadurch die Kosten für Erweiterung des Zuleitungsquerschnittes auf die ganze Länge der Zuleitung erheblich zu steigern, so kann man die weitgehendsten Ansprüche bezüglich des Betriebsdruckes stellen, denn die Kosten für die innere Zuleitung und das Verteilungsrohrnetz erhöhen sich nicht, ob das Wasser darin mit einigen Atmosphären mehr oder weniger Druck sich bewegt. Ist jedoch das Gefälle von dem Entnahme- bis zum Versorgungsgebiet kein sehr hohes und will man eine künstliche Hebung des Wassers umgehen, so muss man sich mit der aus dem Mindestgefälle sich ergebenden Druckhöhe abfinden und den Sammler in die Höhe legen, bis wohin das Wasser noch mit seinem Gefälle gelangen kann.

Muss das Wasser überhaupt erst durch Pumpen in die erforderliche Höhe gefördert werden, so müssen die Betriebskosten berücksichtigt werden, da diese mit Zunahme der Druckhöhe verhältnismässig wachsen, sowohl durch Erhöhung des Anlagekapitals als auch des Kraftaufwandes. Man muss hier nach Lage der örtlichen Verhältnisse die Ansprüche an die Druckleistung mit den hierdurch wachsenden Kosten in Einklang zu bringen suchen.

Gewöhnlich beträgt der mittlere Druck in den Versorgungsgebieten, wenn nicht zwingende Einschränkungen vorliegen, etwa 30 m, und unter Hinzufügung der Druckverluste ergibt sich daraus eine mittlere Höhenlage der Sammler über dem Versorgungsgebiete von 40 bis 50 m.

Die Höhe des Wasserstandes über der Sohle der Sammelbehälter beträgt gewöhnlich 2,5 bis 3,5 m, manchmal auch 4 m, selten 5 bis 6 m. Die Höhe des Wasserstandes ist nach oben begrenzt durch die zulässige Höchstpressung auf das Mauerwerk, besonders auf die Fundamente der Mauern; nach unten durch den Umstand, dass das Wasser in den Sammelbehältern den Temperatureinflüssen um so zugänglicher wird, je niedriger sein Stand darin ist. Bei eisernen Behältern kann der Wasserstand eine Höhe von 10 bis 12 m erhalten.

Die Grundrissform der Sammelbehälter ist kreisförmig, wenn der Umfang im Verhältnis zur Grundfläche die geringste Ausdehnung erhalten soll, dann quadratisch oder rechteckig. Wird nur ein Behälter errichtet, so empfiehlt es sich, diesen in zwei Abteilungen zu zerlegen, so dass der Betrieb bei nötigen Reinigungsarbeiten keine Unterbrechung erleidet. Für kleine Anlagen und sehr reines Wasser kann diese Teilung auch entbehrt werden, wenn man eine Umgangsleitung herstellt, durch die das Wasser dem Versorgungsgebiete ohne Vermittelung des Behälters zugeführt werden kann.

Bei der Trennung des Behälters in zwei gleich grosse Abteilungen ist der kreisförmige nicht mehr so günstig; denn dann ist die Länge der Umfangs- und Scheidemauern im Verhältnis zur umschlossenen Fläche nicht viel geringer als bei rechteckiger Grundrissform für gleichen Flächeninhalt F, und wenn die Länge einer Abteilung $L = {}^3/_4 B$ ist (B = Breite).

Für die Kreisform ist bei 2 Abteilungen:

$$F = \pi \, {}^1/_4 \, . \, D^2 \text{ und } D = 2\sqrt{\frac{F}{\pi}} = 1,1284\sqrt{F}$$

$$U_0 = \pi D + D = 1,1284 \, . \, \sqrt{F} \, . \, (\pi + 1)$$

$$= 4,67 \sqrt{F}.$$

Für das Rechteck in 2 Abteilungen:

$$F = 2 \,.\, B \,.\, L = {}^3/_2 B^2 \text{ und}$$

$$B = \sqrt{{}^2/_3 F} = 0{,}8124\sqrt{F}$$

$$U = 3B + 4L = 4{,}8744\sqrt{F}.$$

Die Länge der Umfangswände wird also bei der Zweiteilung nahezu gleich gross für rechteckigen und kreisförmigen Grundriss; mit Rücksicht darauf, dass die Überdeckung eines rechteckigen Behälters einfacher sich gestaltet als bei einem kreisförmigen, und dass die Abteilungen gleichmässigen Durchflussquerschnitt erhalten, wenn der Horizontalquerschnitt rechteckig ist, was aber beim kreisförmigen nicht der Fall sein kann, so ist der letztgenannte meist nicht in Anwendung, sondern der rechteckige. Sind zwei Sammelbehälter vorhanden, so kann die Zweiteilung der einzelnen Behälter in Wegfall kommen, da diese ohnehin erhebliche Mehrkosten für Scheidemauer und doppelte Ausrüstung an Leitungen mit Zubehör verursacht.

Die Sammelbehälter werden entweder in und auf dem festen Boden unmittelbar oder mittelbar auf darüber errichteten Unterbauten hergestellt; die ersteren sind die Bodenbehälter, die letzteren die Turmbehälter, da sie im allgemeinen in sogenannten Wassertürmen untergebracht werden.

Die *Boden- oder Geländebehälter* können derart in den Boden eingebaut sein, dass sie von allen Seiten vom gewachsenen Boden, oben und unten, umschlossen werden; solche Behälter müssen bergmännisch dem Erdinnern abgewonnen werden, und die Querschnittsformen müssen — der Beschaffenheit der Boden- und Gesteinsschichten entsprechend — gewählt werden. Besteht das Erdinnere aus festem geschlossenen Gesteine, so kann man darin nach allen Richtungen die Aushöhlung des Sammelraumes betreiben und einen nach Breite, Länge und Höhe ausgedehnten Behälter herstellen, der nicht einmal ausgemauert zu werden braucht, indem hier meist ein guter Zementverputz von 3 bis 6 cm auf den rauhbearbeiteten Felswänden genügt, um diese undurchlässig zu machen. Ist aber die Bodenbeschaffenheit eine

feuchte und lockere, oder ist sogen. druckhaftes Gebirge vorhanden, so empfiehlt es sich, dem Behälter die Form eines Stollens zu geben und zwar in der beim Eisenbahnbau erprobten Profilform der Tunnels, sowie auch diese Stollen in gleicher Weise auszumauern und wasserdicht zu verputzen. Diese unterirdischen Sammelbehälter gewähren dem Wasser den grössten Schutz gegen die Einflüsse der Aussentemperatur und erhalten demselben unverändert die mittlere Bodentemperatur; ihre Herstellung ist jedoch meist kostspielig.

Die meisten Sammelbehälter sind im offenen Gelände errichtet mit oberirdischem Bau; sie sind mehr oder weniger in den Boden versenkt, oder auch unmittelbar auf die Oberfläche des Geländes gestellt. Als offene Behälter, ohne Überdeckung, werden sie für Zwecke der Wasserversorgung bewohnter Orte nicht mehr ausgeführt, sondern alle erhalten eine gewölbte Decke, welche ausserdem noch von 1 bis 1,5 m hoher Erdanschüttung überragt ist. Die Tiefe der Versenkung unter die Bodenoberfläche wird gewöhnlich so gewählt, dass der durch den Aushub der Baugrube gewonnene Boden ausreicht, um die Erdanschüttung über der gewölbten Decke und vor den den Boden überragenden Seitenmauern herzustellen, sowie auch dazu noch, um etwaige Einebnungsarbeiten um den Behälter vorzunehmen. Ist der Baugrund ein fester, bestehend aus Gesteinen und Bodenarten, die in senkrechter Wand frei stehen, also keinen oder ganz geringen Seitenschub auf eingebautes Mauerwerk ausüben, dann ist es, wenn zugleich der Bodenaushub keine grossen Schwierigkeiten bereitet, vorteilhaft, den Behälter bis zur Oberkante der Umfangsmauern in den Boden zu versenken, weil in diesem Falle die Umfangsmauern eine geringere Stärke erhalten können, als wenn sie über den gewachsenen Boden hervorragen, wo der Druck der sie überdeckenden Erdanschüttung auf ihnen lastet. Auch sind die Sammelbehälter um so wirksamer gegen die Einflüsse der Aussentemperatur auf das Wasser geschützt, je tiefer sie im gewachsenen Boden eingelassen sind.

In lockerem Baugrunde müssen die Umfangsmauern, dem Seitenschube des beweglichen Bodens entsprechend, beinahe ebenso

stark gemacht werden, als wenn sie über die Oberfläche hervorragen würden. In diesem Falle fällt also der Kostenpunkt für das Mauerwerk bezüglich der Versenkungstiefe nicht sehr ins Gewicht; doch nehmen immerhin die Baukosten zu, je mehr sich der Behälter über die Bodenoberfläche erhebt; denn für die Mauerstärke der Umfangsmauern ist hauptsächlich der äussere Bodendruck darauf massgebend, weil erstens der von innen entgegenwirkende Wasserdruck kleiner ist als der Bodendruck und zweitens die Mauern auch bei entleertem Sammelbehälter genügend widerstandsfähig sein müssen. Die Umfangsmauern, welche den Gewölben als Widerlager dienen, haben nicht nur dem Seitenschube des lockeren Bodens, sondern auch dem Gewölbedrucke zu widerstehen; die Stirnmauern der Gewölbe nur dem seitlichen Bodendrucke, der in der Richtung des natürlichen Böschungswinkels wirksam ist. Die Hauptscheidemauer, sowie auch die Mauer, welche die Schieberkammer vom Behälter trennt, sind auf den höchsten einseitigen Wasserdruck zu berechnen. Für den Boden des Behälters kommt vor allem die Tragfähigkeit des gewachsenen Bodens in Betracht, welche dem höchsten Wasserdruck darauf vollkommen genügen muss, so dass Fundamente und Sohlenbekleidung ein sicheres Lager darauf finden. Bei vorkommenden Rissen und Brüchen an Sammelbehältern sind meist die mangelhaften Fundamente. und schlechter Baugrund die Veranlassung dazu. Vorkommende Grundwasseradern im Baugrunde sind daher sorgfältig zu entwässern, um jede Aufweichung zu verhindern, allenfalls einzelne Stellen besonders durch Betonierung zu befestigen.

Statt die Umfangsmauern mit Erde zu hinterfüllen, soweit sie im gewachsenen Boden eingelassen sind, ist es behufs Verstärkung und Trockenlegung derselben zweckmässig, diese Hinterfüllung durch Steinwurf, oder besser Steinsatz zu bewirken, sowie überhaupt bei dem Ausheben der Baugrube die Abböschung der Bodenwände auf das geringste Mass einzuschränken, wenn nötig durch Absteifung das Einstürzen derselben zu verhindern. Der Bodenaushub ist möglichst in der Nähe der Baugrube abzulagern unter Absonderung des Mutterbodens, welcher

bei der späteren Überdeckung des Bauwerkes die oberste Schicht derselben zu bilden hat und mit Gras- und Kleesamen angesät wird.

Für die Wahl des Baumaterials sind vor allem die örtlichen Verhältnisse bestimmend; für die Umfangs- und Scheidemauern können lagerhafte Bruchsteine mit sauber bearbeiteten Stirnflächen, hartgebrannte Backsteine, beide in hydraulischem Mörtel versetzt, oder auch Beton verwendet werden. Für Pfeiler verwendet man Quader- oder Backsteine und zu den Gewölben Backsteine oder Beton; für die Sohlenbekleidung Beton und Backsteinpflaster entweder allein, oder beide zusammen, indem dann der Beton nur die Unterlage für das Backsteinpflaster bildet. Die Innenflächen der Sohle und der Wände werden bis etwa 0,20 m über den höchsten Wasserstand mit einem 2 bis 3 cm dicken Verputze aus Portlandzement, dem etwas Kalkmilch beigemengt wird, überzogen und mit feinem Zement abgerieben und geglättet; der Verputz, welcher wasserdicht sein muss, darf erst aufgetragen werden, wenn der Behälter überwölbt und die Mauern schon 6 bis 8 Wochen Zeit hatten, sich in sich zu setzen.

Die Innenflächen oberhalb des höchsten Wasserstandes werden mit Zementmörtel verfugt; die Aussenflächen erhalten einen rauhen Verputz (soweit sie nicht sichtbar sind) mit hydraulischem Mörtel, und die Gewölbedecke öfter auch noch einen Asphaltüberzug. Die Gewölbezwickel an der Aussenfläche erhalten durch entsprechende Ausfüllung mit Beton Gefälle von der Mitte der Decke nach den Umfangsmauern, wo Thonröhren oder auch nur Steinsatz die von der Oberfläche ablaufenden Sickerwasser aufnehmen, und unter der Erdanschüttung weg nach dem anstossenden Gebäude leiten. Für die Unterbringung und Handhabung der zu einem Sammelbehälter nötigen Ausrüstungen sind demselben in der Regel eine, manchmal auch zwei sogenannte Schieber- oder Ventilkammern angebaut. Diese Kammern, sowie der Sammelraum müssen bequem zugänglich sein und durch vom Scheitel der Gewölbe aufsteigende Röhren gelüftet werden; die Ventilkammern sind durch Fenster genügend mit Tageslicht zu versehen. In den Ventilkammern, welche mit dem Sammelraume durch Maueröffnungen oberhalb des höchsten Wasserstandes in Verbindung stehen,

bilden sich in der kühlen Jahreszeit Niederschläge des Dampfgehaltes in der Luft, es ist für den Ablauf derselben an Gewölben und Wänden durch angebrachte Rinnen Sorge zu tragen.

Der Oberteil der Ventilkammern durchbricht häufig die den Sammelbehälter umgebende Erdanschüttung und überragt diese; die dabei entstehenden Sichtflächen des Mauerwerkes müssen dann mit bestem Material, Quadermauerwerk oder geölten Formbacksteinen, verkleidet werden. Die Formengebung des sichtbaren Teiles der Ventilkammern soll deren Bestimmung nicht verdecken, einfach in der Ausschmückung sein und sich an die allgemeine Konstruktion der Kammer anschliessen; die Eingangsthür mit einfacher Umrahmung durch ihre genügend bemessene Höhe und Breite zum Eintritt einladend; ihre Schwelle aus hartem Steine etwa 0,10 m über das Vorgelände emporragend. Die Fenster, wozu auch ein etwa vorhandenes Oberlicht der Thür zählt, sollen nicht grösser sein, als für die Erleuchtung der Kammer unumgänglich nötig ist, und eine gut abgewässerte Fensterbank genügt für die Ausstattung. Will man etwas mehr Aufwand treiben, so wird die Überdeckung der Ventilkammer als Plattform ausgebildet und mit einer das Hauptgesims überragenden Brüstung versehen; ferner kündigt eine in Stein gemeisselte oder in Erz gegossene Inschrift unter Beifügung des Stadtwappens die Zeit und den Zweck der Erbauung, sowie die Namen der hauptbeteiligten Personen an.

Die Einlaufsmündung im Sammelraum soll dessen Ablauf gegenüberliegen, an zwei einander entgegengesetzten Umfangsmauern, so dass der Ablauf eine gleichmässige Strömung durch den ganzen Sammelraum erzeugt und an keiner Stelle darin das Wasser länger verweilt als an anderen. Ein- und Ablaufmündung sind nun im Verhältnis zur Ausdehnung des Sammelraumes sehr klein; das durchgehende Wasser hat also hier eine beträchtliche Geschwindigkeit, während die Durchgangsgeschwindigkeit im vollen Querschnitt des Sammelraumes fast null ist. Das Wasser wird sich daher vom Einlaufe zum Ablaufe auf dem kürzesten Wege bewegen und dadurch in dieser Richtung im Sammelraume gleichsam eine Rinne bilden. Das Wasser, welches dieser Durchlaufsrinne zunächst und oberhalb derselben sich be-

findet, wird darin auch Ablauf finden; aber je weiter die Wasser davon entfernt sind, desto geringer wird ihr Gefälle nach dieser Rinne, d. h. sie werden nicht in demselben Masse ablaufen können wie die näher gelegenen, sie werden stagnieren. Hat das zugeleitete Wasser eine andere Temperatur als das im Sammler schon einige Zeit gestandene, so findet eine dem Temperaturunterschiede entsprechende Mischung des zulaufenden mit dem vorhandenen statt, und die Gefahr des Stagnierens wird geringer.

Um einen möglichst gleichmässigen Abfluss durch den ganzen Sammler zu erreichen, empfiehlt es sich, den Einlauf, wenn er oberhalb des höchsten Wasserstandes gelegt werden kann, nicht durch ein Rohr, sondern durch einen möglichst breiten Überfall über der dem Ablaufe gegenüberliegenden Umfangsmauer zu bewirken. Zu diesem Zwecke wird über dem höchsten Wasserstande eine gemauerte Rinne mit wagrechter Überfallskante hergestellt, in welche das Einlaufsrohr das Wasser ergiesst. Eine andere Einrichtung für gleichmässige Ausbreitung des Abflusses besteht darin, dass man den Sammelraum durch Zwischenmauern, die unter sich parallel stehen, in gleich weite Gänge teilt, wovon jeder mit dem vorhergehenden und nachfolgenden Gange durch eine dem Gangquerschnitte entsprechende Öffnung verbunden ist. Die beiden Öffnungen eines jeden Ganges befinden sich an den einander entgegengesetzten Enden desselben, so dass alle Gänge zusammen vom Einlaufe bis zum Ablaufe einen einzigen Wasserweg darstellen, dessen Länge gleich ist der Summe aus sämtlichen Ganglängen. Je enger man diese Gänge macht, desto länger wird dieser Wasserweg für denselben Sammelraum, und desto grösser die mittlere Durchgangsgeschwindigkeit; aber auch die Baukosten werden in demselben Masse grösser. Diese Anlage von Gängen ist anwendbar, wenn der Einlauf über und unter Wasser geschieht, ist allerdings aber teurer als die Herstellung einer Überfallsrinne; in den meisten Fällen werden die Kosten für beide gescheut, und man verlässt sich auf die Bewegung des Wassers, welche im Sammelraume schon durch den wechselnden Bedarf und den damit verbundenen Wechsel des Wasserstandes entsteht, die man, wenn zwei selbständige Ab-

teilungen oder Sammler vorhanden sind, noch dadurch lebhafter machen kann, dass man abwechselungsweise die eine Abteilung füllt, während die andere entleert wird.

Für die Zwecke eines geregelten Betriebes müssen die Sammler mit verschiedenen Rohrleitungen, Absperrvorrichtungen u. s. w. ausgerüstet werden, wobei besonders zu berücksichtigen ist, ob ein Sammler vor oder hinter dem Versorgungsgebiete liegt, sowie ob es ein Haupt- oder Ausgleichungssammler ist. Liegt der Sammler vor dem Versorgungsgebiete und hat also Zuleitung vom Entnahmegebiete und Zuleitung zu dem Versorgungsorte, dann kann der Wassereinlauf in den Sammler sowohl an dessen Sohle, als auch über dem höchsten Wasserstande liegen. Bei der Zuleitung mittels natürlichen Gefälles kann es in solchen Fällen, wo das verfügbare Gefälle so spärlich ist, dass beim höchsten Wasserstande im Sammler das verfügbare Wasserquantum nicht ganz zugeführt werden kann, wünschenswert sein, durch Verlegung der Einlaufsmündung an die Sohle des Sammlers, dem jeweiligen Wasserstande desselben entsprechend an Gefälle und Leistung der Zuleitung zu gewinnen. Die Zuleitung muss in diesem Falle als geschlossene Leitung auf eine solche Strecke vom Sammler ab angelegt werden, bis sie über die Horizontale des höchsten Wasserstandes im Sammler steigt.

Wird das Wasser durch Pumpen in den Sammler gefördert, so ist es empfehlenswert, die Einlaufsmündung über den höchsten Wasserstand im Sammler zu legen, indem dann die Pumpen immer unter gleichem Drucke arbeiten; der Gewinn an Arbeitsleistung bei wechselndem Drucke, wenn der Einlauf an der Sohle liegt, kommt nicht in Betracht, weil er ohnehin verhältnismässig sehr gering ist und ausserdem auf die Betriebskosten keinen Einfluss hat. Der Einlauf oberhalb des Wasserspiegels hat noch den Vorteil, dass man die Stetigkeit des Einlaufes beobachten und denselben auch durch Anbringung von Überfällen messen kann; ferner können beim obern Einlaufe die Absperrschieber vor der Einlaufsmündung entbehrt werden, weil bei zeitweiliger Unterbrechung der Wasserzuführung ein Rücklauf des Wassers aus dem Sammler in die Zuleitung nicht stattfinden kann, wie in dem Falle, wenn die

Mündung an der Sohle liegt. Bei Pumpenbetrieb ist es sogar sehr wünschenswert, dass in dem Druckrohre keine Absperrvorrichtungen vorhanden sind, um eine Sperrung des Wasserlaufes darin durch irrtümlichen Schluss eines Schiebers unmöglich zu machen.

Liegt der Sammelbehälter hinter dem Versorgungsorte, in welchem Falle das Zuleitungsrohr zugleich auch Verteilungsrohr ist, so muss die Einlaufmündung an der Sohle liegen, weil sie hier eben nicht nur Einlauf, sondern zugleich auch Ablaufleitung ist und als solche auch beim niedrigsten Wasserstande im Sammler noch abführen muss, wenn zeitweilig der Bedarf die Zuführungsmenge überschreitet. Einen Wassereinlauf oberhalb des höchsten Wasserstandes kann man nur damit ermöglichen, dass man das Zuleitungsrohr in der Ventilkammer in zwei Röhren verzweigt, wovon die eine im Sammelbehälter bis über den höchsten Wasserstand sich erhebt und als Einlauf dient, während die andere an der Sohle in den Sammler mündet und nur als Ablauf dient, zu welchem Zwecke eine Rückstauklappe eingeschaltet ist, welche durch die Stromrichtung nach dem Sammler geschlossen, und von dem Sammler geöffnet wird. Liefert die Zuleitung Wasser über den Bedarf, so erhöht sich der Wasserstand in der Zuleitung über den Wasserstand im Sammler, schliesst die Rückstauklappe und steigt weiter, bis es über dem Wasserspiegel durch die Einlaufmündung sich in den Sammelraum ergiesst. Liefert die Zuleitung nicht so viel Wasser als verbraucht wird, dann fällt der Wasserstand im Zuleitungsrohre, die Rückstauklappe wird damit entlastet, öffnet sich und lässt, dem Fehlbetrage entsprechend, Wasser aus dem Sammler in die Zuleitung.

Durch nachstehende Skizze (Fig. 88) ist eine derartige Anordnung der Zuleitung für einen Sammler mit 2 Abteilungen dargestellt. Ein- und Ablaufröhren sind deshalb noch mit Absperrschiebern versehen, damit man nach Bedürfnis die eine oder die andere Abteilung vom Ein- und Ablauf ausschalten kann. Als Sicherheitsüberlauf für den Fall, dass aus Versehen beide Einlaufschieber geschlossen sind, erhebt sich das Aufsteigerohr etwa

0,50 m über die Einlaufmündungen; die obere Öffnung des Aufsteigerohrs ist mit einer vom Rohre abstehenden Kappe überdeckt, und hier läuft das Wasser über in die Ventilkammer, wenn die Einlaufschieber geschlossen sind. Aus der Ventilkammer wird das überschiessende Wasser durch deren Entleerungsleitung abgeführt.

In der nebenstehenden Skizze (Fig. 88) sind der Kürze wegen Einlauf und Ablauf nahe bei einander liegend gezeichnet; in Wirklichkeit wird man dieselben weiter auseinander legen.

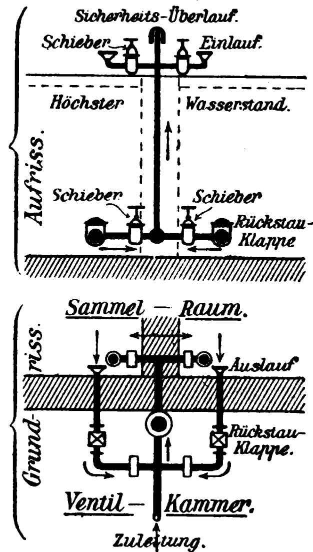


Fig. 88.

Verteilungssammler liegen immer niedriger als die Hauptsammler, von welchen sie das überschüssige Wasser erhalten, wie auch die Niederdrucksammler gegenüber den Hochdrucksammlern, welche Wasser an sie abgeben; um eine Überfüllung der Niederdruck- und Verteilungssammler zu vermeiden, müssen diese demnach mit einer Vorrichtung ausgestattet sein, welche den Wassereintritt in den Sammler selbstthätig absperrt, sobald der höchste Wasserstand darin erreicht ist. Diese selbstthätigen Absperrvorrichtungen bestehen im allgemeinen aus der Verbindung eines im Sammelwasser befindlichen Schwimmers mit einem den Einlauf regelnden Ventile; Fig. 89 (S. 306) skizziert ein solches Schwimmerventil.

Der Abschluss wird durch ein Tellerventil bewirkt, das sich mit einem Schwimmer an einem Hebelarm auf und ab bewegen kann.

Für Zuleitungen von kleiner Lichtweite, von D. 60 mm abwärts, können die gewöhnlichen Schwimmkugelhähne oder Ventile in Anwendung kommen.

Die **Ablaufröhren** sind so anzubringen, dass sie gestatten, den Inhalt des Sammelraumes möglichst ganz dem Verbrauche zuzuführen, jedoch unter Vermeidung des Ablaufes des auf der Sohle sich bildenden Schlammes; zu diesem Zwecke wird an der

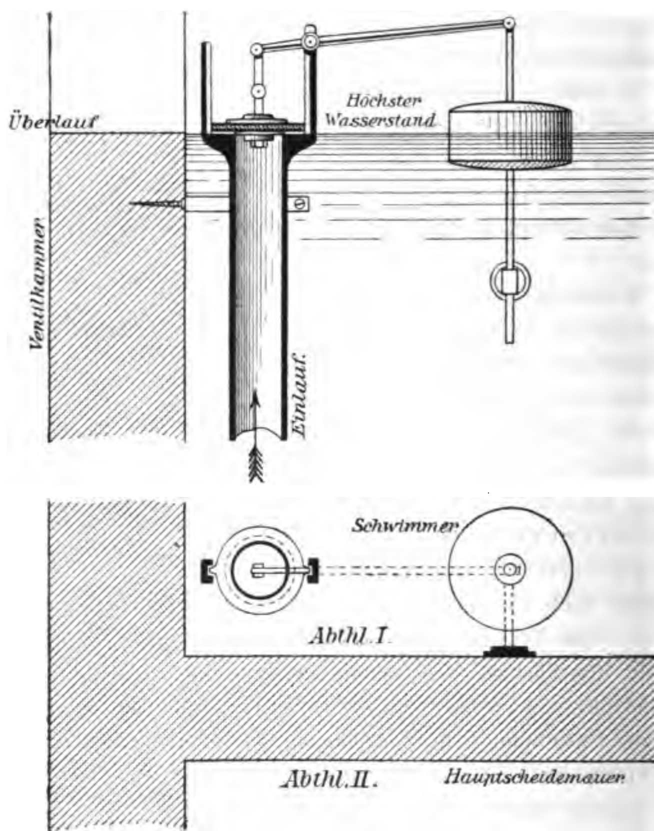


Fig. 89.

Ablaufstelle eine kleine Versenkung in der Sohle hergestellt, innerhalb welcher das Ablaufrohr und das Entleerungsrohr mündet; das Ablaufrohr liegt mit seiner Unterkante, das Entleerungsrohr mit seiner Oberkante in der Höhe der Sammlersohle. Die Sohle des Sammelbehälters erhält von allen Seiten schwaches Gefälle,

etwa 1:500, nach dieser Versenkung, deren Tiefe etwa 0,50 m unter Sammlersohle beträgt; eine gleiche Tieflage erhält auch die dem Ablaufe vorliegende Schieberkammer. Das Entleerungsrohr des Sammlers ergiesst sein Wasser in die Schieberkammer, wo es von dem Hauptentleerungsrohr, das in eine Sohlenversenkung dieser Kammer mündet, aufgenommen wird. Das Hauptentleerungsrohr muss eine genügende Lichtweite erhalten, damit bei dem vorhandenen Rohrgefälle das von den überfüllten Sammlern kommende Überflusswasser, also die von der Zuleitung gelieferte grösste Wassermenge, abgeleitet werden kann; die Entleerung der Sammler dagegen bedarf nur eine solche Lichtweite, dass die Entleerung eines Behälters nicht zu viel Zeit beansprucht. Für die Lichtweite der Einlauf- und Ablaufröhren ist zunächst die mittlere Geschwindigkeit von 1,0 m massgebend, sowie dass durch den Einlauf die grösste Leistung der Wassergewinnungsanlage, durch den Ablauf der grösste Stundenverbrauch des höchsten Tagesverbrauches oder 2,25 T_m abfliessen muss.

Weil die Ablaufröhren an der Sohle münden, so ergibt sich für den Fall, dass eine solche Leitung aus irgendwelchem Grunde streckenweise entleert wurde und dann wieder gefüllt werden muss, der Übelstand, dass dabei die Luft nur stossweise durch das Füllwasser ausgetrieben werden kann, wodurch nicht nur die Füllung erschwert wird, sondern die Leitungen undicht werden können. Man verbindet deshalb die Ablaufröhren mit einer bis über den höchsten Wasserstand sich erhebenden oben offenen Standröhre, durch welche die bei einer Füllung verdrängte Luft stetig entweichen kann, und die zugleich während der Benutzung der Umgangsleitung als Überlaufrohr dient.

Zweckmässig ist es, sämtliche Rohrleitungen mit ihren Absperrvorrichtungen in einer gemeinsamen Schieberkammer zu vereinigen und hier auch die Wasserstandszeiger anzubringen; der Betrieb der Sammelbehälter gestaltet sich dadurch übersichtlicher, und das Handhaben von Schiebern und dergleichen wird rascher und sicherer ausgeführt, als wenn dazu zwei oder mehrere Stellen aufgesucht werden müssen. Einerseits entstehen durch eine einheitliche Ventilkammer etwas Mehrkosten, weil in diesem Falle

der Einlauf innerhalb des Sammelraumes bis zur entgegengesetzten Umfangsmauer verlängert werden muss; andrerseits erlangt man aber den Vorteil, dass durch die Vereinigung der Ein- und Ablaufsleitung in einer Kammer die Herstellung einer Umgangsleitung mit den geringsten Kosten ausgeführt werden kann.

Ausser den gewöhnlichen Wasserstandszeigern in der Ventilkammer werden sehr häufig auch noch elektrische Wasserstandszeiger eingerichtet, welche einen bestimmten Hochwasserstand im Sammler durch ein Glockensignal in der Betriebskanzlei oder im Maschinenhause anzeigen, um dadurch auf die bevorstehende baldige Überfüllung oder Entleerung des Sammlers aufmerksam zu machen. Besonders bei Pumpenbetrieb ist diese Einrichtung sehr nützlich, indem dadurch der Maschinist in den Stand gesetzt wird, den Gang der Pumpen den Verbrauchsverhältnissen entsprechend zu regeln.

Öfter werden auch Messvorrichtungen zur Feststellung der Wasserzuführung angebracht, es eignen sich dazu am besten die Überfälle; die von ihnen bei bestimmter Breite und verschiedenen Wasserhöhen über der Überfallkante gelieferten Wassermengen können durch Versuche gefunden, auf eine Skala aufgetragen und mit Hülfe eines Schwimmers jederzeit abgelesen werden. Für Zuleitungen von kleinerer Lichtweite werden auch Wassermesser eingebaut, die jedoch eine sorgfältige Unterhaltung bedingen und auch schon einen grösseren Druckverlust veranlassen.

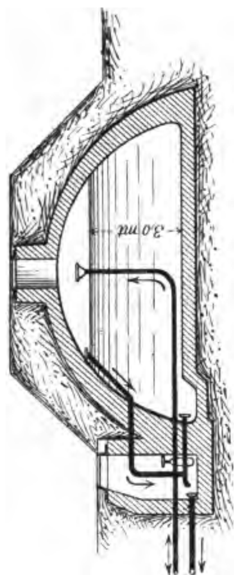
In nachstehenden Skizzen sind einige kreisförmige und ein rechteckiger Sammelbehälter dargestellt; die erstgenannten ohne Abteilung, der letztgenannte mit zwei Abteilungen.

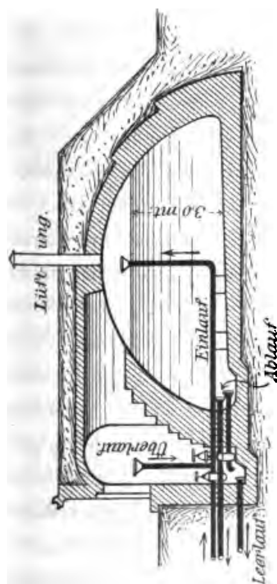
Fig. 90 ist ein kreisförmiger Sammelbehälter aus Backsteinen gemauert mit Schieberkammer, von welcher aus der Behälter zugänglich ist.

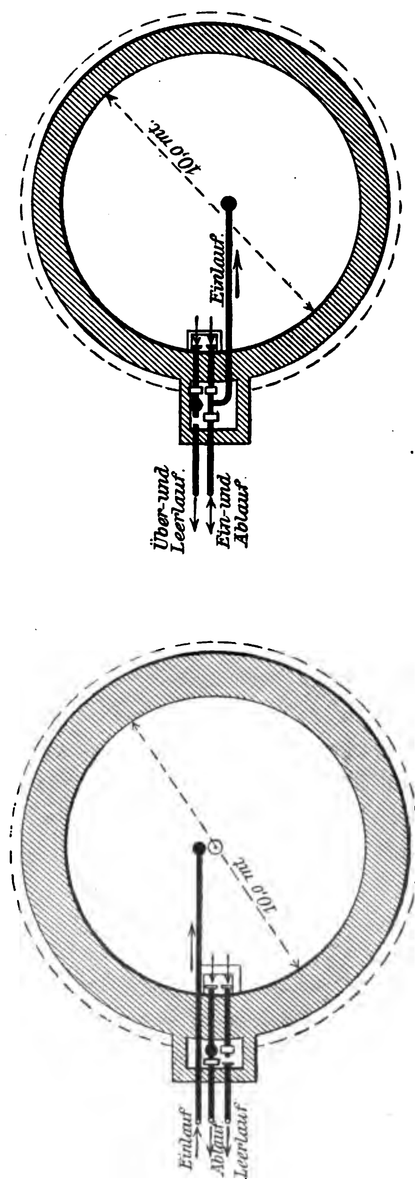
Fig. 91 ein solcher Behälter, der nur einen Schieberschacht besitzt, und der Behälter, welcher aus Beton gebaut ist, hat im Scheitel einen besonderen Einsteigschacht.

Fig. 90 ist ein Sammler vor und Fig. 91 ein Sammler hinter dem Versorgungsorte, bei welchem Einlaufrohr zugleich Ablaufrohr ist und deshalb vor Eintritt in den Sammel-

Fig. 90. Sammelbehälter. (Massstab 1 : 250.) Fig. 91.







raum verzweigt und der Ablaufzweig mit einem Rückstauventil versehen ist; ausserdem ist in diese Rohrleitung vor der Verzweigung noch ein Absperrschieber eingesetzt, um den Sammler von der Ein- und Ablaufleitung abschliessen zu können. Das Leerlaufrohr mündet in die Schieberkammer und nimmt vor seiner Ausmündung noch das von oben kommende Überlaufrohr auf; die Schieberkammer besitzt eine Entwässerung, welche Leer- und Überlaufswasser aufnimmt. Durch das in der Mitte des Behälters aufsteigende Einlaufzweigrohr, kann die Luft beim Füllen der Rohrleitung entweichen.

Bei dem Sammler vor dem Versorgungsorte (Fig. 90) sind für Ein- und Ablauf besondere Leitungen vorhanden; das Einlaufrohr ohne, das Ablaufrohr mit Absperrschieber, und ausserdem sitzt auf dem Ablaufrohre vor dessen Absperrschieber das Überlaufrohr, das bei Wasserfüllung des Ablaufrohres von unten nach oben zugleich als Lüftungsrohr dient.

Der in Fig. 92 (Taf. X) durch Grundriss, Längen- und Querschnitt dargestellte Sammler mit 2 Abteilungen ist ganz aus Beton hergestellt, mit vorgelegter Schieberkammer. Das Einlaufsrohr erhebt sich bis über den höchsten Wasserstand und mündet über der Scheidemauer der Schieberkammer in einen Einlaufkanal, welcher in der Hauptscheidemauer der beiden Sammlerabteilungen ausgespart ist. Die beiden obengenannten Scheidemauern liegen mit ihrer Oberkante 0,20 m über dem höchsten Wasserstande; die Schieberkammer ist durch ein Gewölbe geschlossen, das sich bis über den Scheitel des ersten hinter der Schieberkammer liegenden Ganggewölbes fortsetzt und hier durch eine Stirnmauer geschlossen ist. Diese Stirnmauer ist für die Öffnung des gewölbten Ganges über dem Einlaufkanale durchbrochen. Auf die Weise ist der Sammelbehälter von der Schieberkammer aus auf die ganze Länge des Kanales begehbar und durch eiserne Leitern zu beiden Seiten der Hauptscheidemauer nächst der Schieberkammer besteigbar. Am Ende des Einlaufkanales sind zu beiden Seiten die beiden Öffnungen in der Seitenwand des Kanales, durch welche das Wasser sich in die 2 Abteilungen ergiessen kann, und welche mittels Schützen oder Klappen nach Bedarf geöffnet und geschlossen

werden können. Jede Abteilung ist durch Scheidemauern mit je einem Durchgange in eine Anzahl Gänge, hier vier, geteilt, durch welche das Wasser vom Einlaufe bis zum Ablaufe fliessen muss, so dass das Wasser überall in Bewegung ist. Die Sohle der Gänge hat vom Einlaufe zum Ablaufe kleines Gefälle, um die vorkommenden Reinigungsarbeiten zu erleichtern.

Die beiden Ablaufröhren sind mit Absperrschiebern versehen, um das Wasser nach Bedarf aus nur einer oder aus beiden entnehmen zu können; hinter diesen Schiebern vereinigen sich die beiden Ablaufröhren zu einem gemeinsamen Ablaufrohre, welches innerhalb der Schieberkammer durch ein sperrbares Rohrstück mit dem Einlaufrohr verbunden ist. Werden die Schieber der beiden einzelnen Ablaufröhren geschlossen, derjenige des oben erwähnten Verbindungsstückes mit der Ablaufleitung geöffnet, so gelangt das Wasser aus dem Einlaufrohre unter Umgehung des Sammelbehälters unmittelbar in das Ablaufrohr; mit dieser Schieberstellung kann auch das entleerte Ablaufrohr gefüllt werden, wobei das in der Schieberkammer aufrechtstehende, oben offene Einlaufrohr zur Entlüftung dient. Jede Abteilung hat eine besondere Entleerung, hinter deren Absperrschieber das Überlaufrohr einmündet; Leer- und Überlaufwasser ergiesst sich in die Schieberkammer, welche mit einem an der Sohle mündenden Entwässerungsrohre versehen ist.

Die Schieberkammer ist durch eine eiserne Thür mit vorgelegten Stufen zugänglich; der Hohlraum der Kammer in der Höhe der Thürschwelle ist mittels eichener Bohlen auf eisernen Trägern überbrückt, so dass nicht nur ein bequemer Zugang zum Sammelraum und dessen Kanal entsteht, sondern auch ein sicherer Standplatz zur Handhabung der Schieber gewonnen wird, deren Schlüsselstangen bis über den genannten Bohlenbelag verlängert und hier in gusseiserne Säulchen mit Skala geführt sind. Die Skala lässt den Stand der Schieber und ein Wasserstandszeiger die Höhe des Wassers in den Abteilungen erkennen, so dass der Wärter von dem oberen Fussboden der Kammer aus den Betrieb regeln kann; der untere Kammerraum kann durch eine schmiedeeiserne Leiter erreicht werden.

Zur Lüftung des Sammelraumes und der Schieberkammer dienen 4 vom Scheitel des Kanalganges ausgehende Röhren, sowie ein vergittertes Oberlicht in der Thür.

Einige bemerkenswerte Beispiele ausgeführter Sammelbehälter, welche ich nachstehend anführe, können darthun, wie verschiedenartig die Bauweise unter dem Einflusse örtlicher Verhältnisse sich gestaltet.

Der Sammelbehälter von Rochester, von etwa 4000 cbm Inhalt, liegt nahe der zur Wasserförderung dienenden Pumpenanlage; er ist 20,2 m breit und 46,5 m lang und ist ganz aus Beton gebaut. Die Betonsohle von 0,40 m Stärke ruht auf einer Thonplatte von 75 mm Stärke; darauf ruhen die Umfangsmauern von 1,0 m Stärke unten und 0,6 m oben bei 6,0 m Höhe. In der Längsrichtung geht durch die Mitte eine Scheidemauer von 1,90 m Höhe, den Behälter in zwei Abteilungen trennend, wovon jede ihre besonderen Zu- und Abflussröhren hat. Soweit das Betonmauerwerk über die Oberfläche des Geländes hervorragt, etwa 1,75 m, ist die Aussenfläche bis auf 1,0 m Tiefe unter dieser Oberfläche mit einer 1 Stein starken Backsteinmauer als Frostschutz bekleidet. Die ganze Innenfläche ist mit Zementverputz überzogen.

Der obere Abschluss besteht in einer Monierdecke; zu deren Unterstützung dienen Gurtbögen aus U-Eisen und Beton, welche in Abständen von 2,14 m sich erheben. Die Eisenkonstruktion ruht auf in den Längswänden angeordneten gusseisernen Platten von 13 mm Stärke. Die äusseren Flächen der Eisengurten sind zur Aufnahme des Verputzes mit Drahtgeflecht überzogen. Die Decke selbst hat 51 mm Stärke; ihre untere Lage besteht aus Beton von 38 mm, während die obere Abgleichung von 13 mm aus Zementmörtel besteht. Eine Überdeckung mit Erde fehlt mit Rücksicht auf die geringe Tragfähigkeit der Decke.

Ein quadratischer Sammelbehälter mit Umlaufgängen für gleichmässige Wasserbewegung, dessen 4 Umfangsmauern Gewölbewiderlager sind, ist im Grundriss durch Fig. 93 dargestellt.

Eine andere Überdeckung, die auch häufig angewendet wird,

weil sie geringen Aufwand an Baumaterial verursacht, besteht aus Kappengewölben, welche auf Pfeilern ruhen, wie es durch Fig. 94 angedeutet ist.

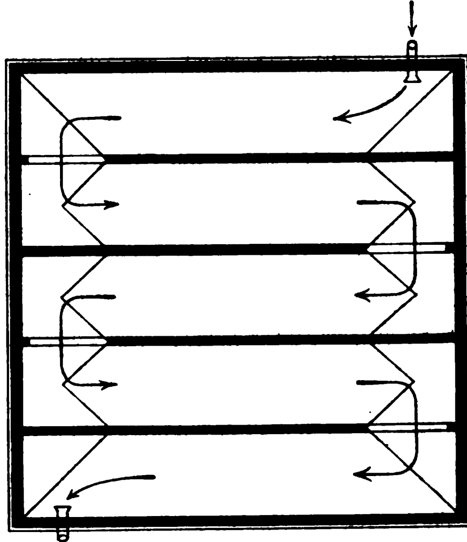


Fig. 93.

Ein interessanter Bericht über das Reissen der Mauern eines freistehenden Wasserbehälters findet sich im Centralblatt der Bauverwaltung vom Jahr 1899 Nr. 75, von dem ich in Kürze das Hauptsächlichste hervorheben will. Es handelt sich um den Maligakanda-Wasserbehälter des Wasserwerks von Colombo auf der Insel Ceylon.

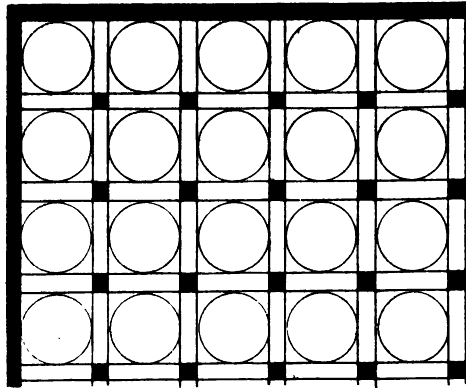


Fig. 94.

Der Behälter hat einen Fassungsraum von 41000 cbm, ist mit quadratischem Grundriss von 73 m Seitenlänge fast ganz über der Geländeoberfläche erbaut; für 12,0 m Wassertiefe haben die Umfangsmauern an der Sohle 5,80 und 14,40 m über der Sohle noch 1,75 m Stärke; innen ist die Mauerfläche senkrecht, aussen mit Anlauf von 1:24. Die Sohle besteht aus Beton von 0,30 m

Stärke. Wegen des Schutzes gegen die Einwirkung der Sonnenwärme besteht die Überdeckung aus 2 Betongewölben übereinander mit Zwischenraum von 1,60 m, das untere Gewölbe hat 0,23, das obere 0,18 m Scheitelstärke. Die Gewölbe ruhen auf gusseisernen Säulen von 4,90 m Abstand, und der Seitenschub ist durch eine Reihe von eisernen Zugstangen aufgenommen.

Bei einer Füllung bis 7,3 m Wasserhöhe zeigten sich Sprünge in der Sohle, die sich in der Umfangsmauer bis auf 9,0 m Höhe aufwärts zogen. Nach Ausbesserung der Sprünge und Wiederfüllung bis 11,9 m Wasserhöhe erfolgte ein bedeutender Bruch an zwei entgegengesetzten Stellen von der Mauerkrone beginnend und durch die Sohle sich fortsetzend; auch das Gewölbe zeigte viele Sprünge. Auch diese Sprünge wurden wieder ausgebessert, jedoch ohne Erfolg, denn bei der neuen Füllung zeigten sich wieder Risse, die jedoch die Betriebsführung ermöglichten. Als Ursache dieser Mauerbrüche wird der nachgiebige Thonboden angesehen, auf dem der Behälter steht und für welchen die thatsächliche Belastung von 6 k auf 1 Quadratzentimeter zu hoch ist.

Die Sammelbehälter auf Unterbauten, sogenannte Wassertürme, werden nötig, wenn die Umgebung des Versorgungsortes in der Nähe kein Gelände von genügender Höhenlage für Unterbringung eines Bodenbehälters aufweist. Die Wassertürme beanspruchen kein so ausgedehntes Gelände, zumal ihre Grösse schon durch die erheblichen Kosten beschränkt ist, und man kann sie daher gewöhnlich möglichst nahe dem Versorgungsorte, oft in demselben errichten, so dass die Wasserverteilung im Versorgungsgebiete sich möglichst günstig gestaltet. Mit Rücksicht auf den Kostenpunkt beschränkt man den Inhalt der Sammelbehälter auf das möglichst geringe Maass, sei es durch Vervielfältigung der Maschinenanlage oder durch Anlage von kleineren Verteilungsbehältern.

Die Fundamente der Wassertürme werden stark belastet und müssen dementsprechend genügend stark bemessen werden. Häufig stellt man den Turm auf eine Betonplatte, welche den Druck aufnimmt und auf eine grosse Fläche verteilt. Über den gemauerten Fundamenten wird der Unterbau entweder aus Mauerwerk oder aus Eisenkonstruktion errichtet. Eisen-

konstruktionen verursachen im allgemeinen bei grösserer Höhe der Türme geringere Kosten als gemauerte Türme, belasten auch die Fundamente nicht so stark als diese. Bezüglich der Dauerhaftigkeit und auch Verwendbarkeit des von den Türmen umschlossenen Raumes verdienen jedoch die gemauerten vor den eisernen den Vorzug.

Die Sammelbehälter selbst werden jetzt allgemein aus Schmiedeeisen hergestellt; die verschiedenen Gestaltungen der Behälter unterscheiden sich hauptsächlich durch die Bildung des Bodens. Früher gab man den Behältern einen rechteckigen Grundriss mit wagrechtem Boden und machte sie in dieser Form auch häufig aus Gusseisen; für kleine Behälter, die sich öfter in einen vorhandenen Raum einfügen müssen, wird diese Konstruktionsweise noch angewendet. Die Wassertürme für solche rechteckige Sammelbehälter erhielten dementsprechend auch rechteckigen Grundriss, welche Form sich besser zur Ausführung in Mauerwerk eignete. Bei den wagrechten Behälterböden ist die Beanspruchung durch den Wasserdruck eine sehr hohe; die Böden mussten sehr starke Wanddicke erhalten und ausserdem gegen Durchbiegung durch Unterzüge geschützt werden. Man ging daher zu dem kreisförmigen Grundriss mit gewölbten, durchhängendem Boden über; der Boden erhält dabei die Form eines Kugelabschnittes.

Prof. Intze in Aachen hat sich um die Konstruktion der schmiedeeisernen Sammelbehälter grosses Verdienst erworben, indem von ihm die neue Formgebung, sowie deren Berechnungsweise herrührt.

Die Sammelbehälter mit durchhängendem Kugelboden sind an der untern Kante, wo Boden und Umfangswand zusammenstossen, an einem eisernen Auflagerringe befestigt, der stark genug sein muss, um ohne Inanspruchnahme der Umfangswände den vom Boden übertragenen Zug aufzunehmen.

Bezeichnet R den Halbmesser der Kugel, von der der Boden ein Abschnitt ist, S den Zug, den der Boden für den laufenden Meter des Behälterumfanges ausübt schräg nach unten in der Richtung der Tangente zur Kugelfläche, so ist der Wert von S für die tiefste Bodenstelle:

$S = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot R \cdot H$, worin H die grösste Wasserhöhe über der tiefsten Bodenstelle und γ das Gewicht von 1 cbm Wasser bedeutet. Da der Boden gleiche Blechstärke erhält, so lässt sich aus dieser Gleichung die Blechstärke berechnen.

Der Druck P auf den Auflagerring ergibt sich aus folgender Gleichung, worin P den wagerechten Druck auf den Auflagerring für den laufenden Meter bezeichnet, G das Gewicht des Behälterinhaltes und α der Winkel der Tangente der Kugelfläche mit der Senkrechten,

$$49)\quad P = \frac{G \cdot \text{tang.} \cdot \alpha}{2\pi}$$

für $\alpha =$	30^0	45^0	60^0	75^0 ist
$\frac{P}{G} =$	0,0924	0,159	0,273	0,594

Die Auflagerringe kann man aus Gusseisen herstellen, besser werden sie jedoch aus Schmiedeeisen hergestellt, wie in nebenstehender Fig. 95. Verstärken kann man die Auflagerringe, indem darüber noch ein steifes Fachwerk um den ganzen Umfang aus Winkeleisen in der Höhe von etwa $\frac{1}{5} \cdot H$ gesetzt und mit dem Auflagerring verbunden wird.

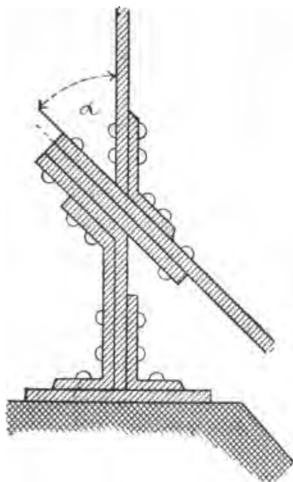
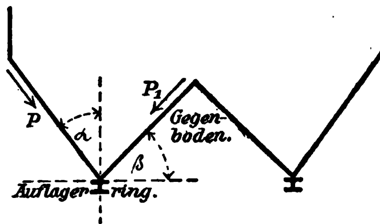


Fig. 95.

D i e K u g e l b ö d e n sind schwierig herzustellen, weil sie keine aufwickelbare Fläche darstellen, sondern in die Kugelform getrieben werden müssen, wodurch die Festigkeit der Bleche leidet. Diese Übelstände lassen sich durch h ä n g e n d e K e g e l b ö d e n (statt K u g e l böden) vermeiden; die Kegelböden werden jedoch bei gleicher Neigung α am Auflagerring um etwa $40^0/_0$ schwerer als Kugelböden. Man legte daher den Auflagerring nicht mehr an den Umfang der Grundfläche des Kegels, sondern tiefer, so dass der über dem Tragring befindliche Teil des Kegels nicht mehr hängt, sondern

auch trägt. Durch diese Anordnung erhalten Auflagerring sowie das Mauerwerk einen kleineren Durchmesser, und der über dem Auflagerring befindliche Bodenteil wird durch wagerechte Zug- sowie senkrechte Druckkräfte in Anspruch genommen, so dass nur deren Resultierende auf diesen Bodenteil wirksam ist, und daher auch hier einfach Blech genügt.

Statt den unterhalb des Auflagerringes befindlichen Kegelboden durchhängen zu lassen, kann man diesen Teil auch vom Auflagerring an nach innen aufsteigen lassen, einen sogenannten Gegenboden bilden; in gleicher Weise kann man auch Kugelboden als Gegenboden ausbilden. Während der oberhalb des Auflagerringes befindliche, stützende Kegelboden den Auflagerring zusammenpresst, hat der Gegenboden das Bestreben, ihn auseinanderzutreiben. Bezeichnet P die in der Richtung der Mantellinie des Kegels auf einen Meter des Auflagerringes wirkende Druckkraft des äusseren Kegels und P_1 diejenige des Gegenbodens, so wird der Auflagerring von jeder wagerechten Beanspruchung befreit, wenn



$$49a)\quad P \,.\, \sin\alpha = P_1 \,.\, \cos\,.\,\beta \text{ oder } \cos\beta = \frac{P}{P_1}\,.\,\sin\alpha$$

gemacht wird.

Der Auflagerring kann also in diesem Falle bedeutend leichter werden, als bei den durchhängenden Boden, und weil die vorhandene wagerechte Spannung des Auflagerringes sowohl bei vollem, als bei leerem Behälter gleich Null ist, so hat die Füllhöhe desselben auch keinen Einfluss auf Formveränderungen dieses Ringes.

Fällt der Gegenboden sehr gross aus, so ist es zur Versteifung des Bodens vorteilhaft, den Gegenboden noch mit einem mittleren Hängeboden zu versehen, wie in Fig. 100 (S. 318). Der Hängeboden selbst besitzt dann wenig Flächeninhalt und erhält einen kleinen Krümmungshalbmesser mit geringer Spannung, so dass er

Formen der Behälterböden.

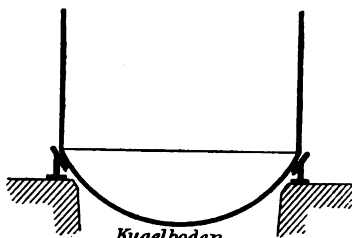


Fig. 96.

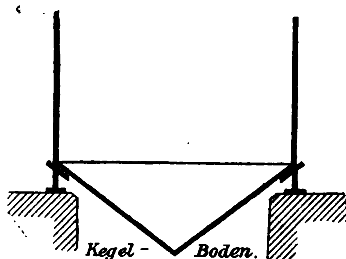


Fig. 97.

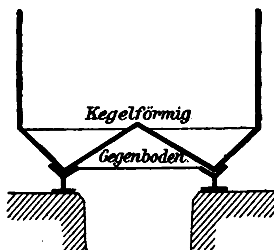


Fig. 98.

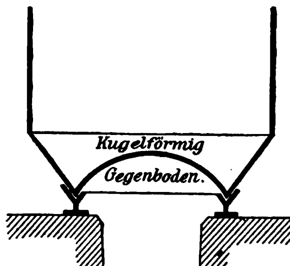


Fig. 99.

an seiner Stosskante mit dem Gegenboden nur eines Befestigungsringes aus Winkeleisen bedarf.

Für grössere Behälter mit innerer Wendeltreppe empfiehlt es sich, den Gegenboden in ein Gerippe von Trägern und Gurtbögen mit zeltartig durchhängenden Blechen aufzulösen, die sehr dünn

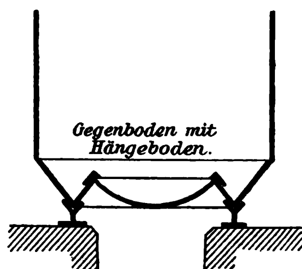
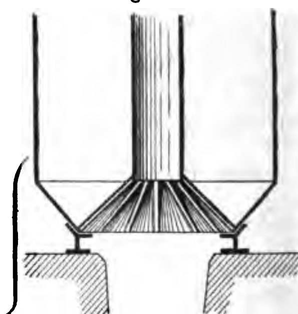
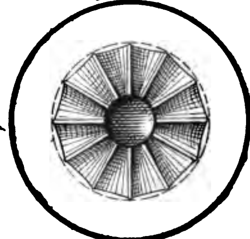


Fig. 100.




Fig. 101.

sein können, wenn man den Wölbungshalbmesser sehr klein wählt (siehe Fig. 101). In den nebenstehenden Skizzen (Fig. 96 bis 101) sind die verschiedenen Gestaltungen der Behälterböden dargestellt.

Der Katalog für Gas- und Wasserbehälter von F. A. Neumann enthält folgende Tabelle über die Gewichte und Kosten von Wasserbehältern und Wassertürmen verschiedener Anordnung*):

Tabelle VII.

Bezeichnung	Höhe des Auflagers über Erdboden m	Inhalt cbm	Eisengewicht des Behälters samt Auflagerring k	Gewicht des Behälters auf 1 cbm Inhalt k	Gesamtkosten von Behälter und Turm Mk.	Gesamtkosten auf 1 cbm Inhalt Mk.
A. Flache Böden auf T-Träger.						
Eisenbahn-Wasserstation . .	—	100	19 790	198	11 300	113
Wasserturm der Stadt Gouda .	—	250	35 000	140	—	—
B. Durchhängende Böden mit äusserer Auflagerung.						
Eisenbahn-Wasserstation . .	—	300	19 100	64	17 000	57
Wasserturm einer Stadt . .	40,0	550	—	—	70 000	130
C. Behälter nach der patentierten Bauweise mit stützendem Boden.						
Eisenbahn-Wasserstation . .	—	360	14 500	48	13 500	40
Wasserturm der Stadt Remscheid, reich ausgestattet als Aussichtsturm	11,0	400	18 000	45	38 000	95
Wasserturm der Stadt Diedenhofen als Doppelturm, reiche Ausstattung	25,0	500	22 000	45	40 000	80
Wasserturm der Stadt Düren .	40,0	550	24 000	44	50 000	90
Turm des Salzbergwerks Stassfurt mit Holzumhüllung . .	8,0	600	28 000	47	24 000	40
Turm für Bremerhaven . .	18,5	660	29 000	44	50 000	75

Bemerkenswert ist, dass nach obiger Tabelle das Gewicht des Behälters für je 1 cbm Inhalt beträchtlich geringer ausfällt für die Bauweise mit stützendem Boden.

Die Hauptvorteile des Systems Intze sind:

*) Die Gesamtkosten beziehen sich auf Behälter und Turm ohne Rohrleitungen, Schieber u. s. w.

1. Der Auflagerring ist nur der Wirkung senkrechter Kräfte ausgesetzt, weshalb derselbe ein leichter, ganz aus Walzeisen zu bildender, fest mit dem Behälter zu vernietender Ring sein kann; auch das Gewicht des Behälters wird verhältnismässig leicht.
2. Die Unterstützung der Behälter durch die Unterbauten fällt verhältnismässig leicht aus, wegen gleichmässiger Verteilung der Belastung auf die Grundfläche.
3. Die Umhüllung der Behälter in Stein, Holz, in leichten Rabitz- oder Monierwänden mit Eisengerippe kann derart geschehen, dass ein bequem zugänglicher Raum zwischen Behälter und Umhüllung geschaffen wird. Das Eisengerippe der Umhüllung trägt zugleich das Dachgerippe, das mit Holzzement auf leichten Gewölben aus Schwemmsteinen oder hohlen Backsteinen eingedeckt ist.
4. Die Zweiteilung eines Behälters kann dadurch leicht erreicht werden, dass man dem mittleren, durchhängenden Boden eine cylindrische Verlängerung nach oben gibt.

Zur Berechnung der Blechstärken des oberen, cylindrischen Teiles des Behälters bedient man sich gewöhnlich der Gleichung

50) $W = \frac{H \cdot R}{1000 \cdot E}$, worin H die Höhe des Wasserdruckes, R den Halbmesser des Cylinders, E den Festigkeitskoeffizienten für Zug für 1 Quadratcentimeter (bei schmiedeeisernen Blechen = 750 kg) bezeichnet; R und H in Centimetern ausgedrückt. Die Blechstärke wird für jeden Meter Höhe des Cylinders besonders berechnet, und als Mindestwandstärke werden 5 mm angenommen, sowie auch die Rechnungsergebnisse in Millimeter nach oben abgerundet. Bezüglich der Blechstärke für die Böden darf man nicht zu sparsam sein, und vor allem sind die bei ausgeführten Behältern angewandten Stärken zu berücksichtigen. Der Turm muss selbstverständlich durch Treppen in seinem Innern bis zur Oberkante des Behälters bequem zugänglich sein, so dass alle etwa nötigen Ausbesserungen rasch und sicher vorgenommen werden können.

Die Hochbehälter der Wassertürme erhalten Zu- und Ablaufröhren, Überlauf und Entleerung, wie die im Boden gebauten Behälter; das Entleerungsrohr nimmt gewöhnlich auch das Dachwasser des Turmes auf. Nachstehend folgt die Beschreibung mehrerer Wasserturmbauten der Neuzeit.

Der Behälter des Wasserturms für die Stadt Halle hat einen Durchmesser von 16,0 m mit einer Höhe des cylindrischen Oberteiles von 4,5 m und einem durchhängenden Kugelboden von 2,76 m Pfeilhöhe; der Inhalt beträgt 1200 cbm. Die Cylinderhöhe ist aus 4 über einander genieteten Ringen von der Höhe der Blechtafeln zusammengesetzt; die Blechstärke für die einzelnen Ringe ist von oben nach unten 6 bis 8 bis 10 und 12 mm.

Der Behälter im Wasserturme für die Stadt Essen hat 18,0 m Durchmesser, 6,52 m Cylinderhöhe, der durchhängende Kugelboden hat eine Pfeilhöhe von 4,03 m; sein Wasserinhalt beträgt 2000 cbm. Der Auflagerring ist aus U-Eisen zusammengefügt, worüber noch ein steifes Fachwerk aus Winkeleisen zur Verstärkung aufgesetzt ist; dies Fachwerk hat die Höhe einer Blechtafel.

Der Wasserturm der Stadt Düren (Fig. 102) trägt einen

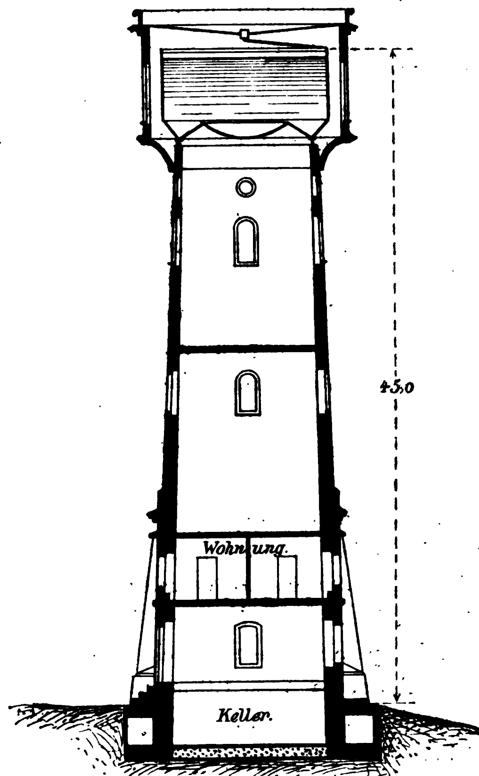


Fig. 102.

Behälter von 11,50 m Durchmesser und 5,0 m grösster Wassertiefe mit 550 cbm Inhalt. Der Boden besteht aus Gegenboden mit mittlerem durchhängenden Kugelboden, welcher einen Grundkreis von 6,50 m hat; der Durchmesser des Auflagerringes ist 9,00 m. Die Blechstärke des Cylinders ist 6 bis 8 und 12 mm. Die Höhe der Oberkannte des Behälters über dem Gelände beträgt 45,0 m; die obere Lichtweite des Turmes 8,50 m, die untere 9,50 m.

Im Wasserturme von Remscheid, der als Aussichtsturm eine reiche architektonische Ausschmückung besitzt, ruht der 8,25 m hohe, 7,5 m weite Behälter mit seinem kugelförmigen Gegenboden auf einem gemauerten Unterbaue, der oben 1,80 m Lichtweite mit 0,65 m Mauerstärke und unten 1,27 m Lichtweite mit 1,20 m Mauerstärke besitzt. Dieser Unterbau von 11,20 m Höhe bildet nur den innern Kern des Wasserturmes, dessen obere Umfangsmauer den Wasserbehälter in einem Abstande von 0,75 m umschliesst und eine Gesamthöhe von 25 m hat. Der Kegelboden von dem Gegenboden mit dem Auflagerring bis zur Unterkante des cylindrischen Oberteiles hat eine Höhe von 2,6 m und eine Blechstärke von 10 und 12 mm; die Blechstärken des Cylinders sind von oben nach unten 6 bis 7 bis 8 bis 9 und 10 mm. Der Auflagerring hat einen Durchmesser von 2,40 m; die grösste Wassertiefe beträgt 10,85 m.

Der Behälter im Wasserturme für das Salzbergwerk in Neu-Stassfurt hat bei 600 cbm Inhalt 12,0 m Durchmesser, 4,5 m Cylinderhöhe, einen stützenden Kegelboden von 3,5 m Höhe und einen Gegenboden von 6,0 m Durchmesser und 1,20 m Pfeilhöhe. Die Lichtweite des gemauerten Unterbaues ist beim Auflagerring 5,50 mit 0,65 m Mauerstärke und unten 6,40 m Lichtweite mit 0,90 m Mauerstärke; die Höhe dieses Unterbaues beträgt 8,50 m. Der Behälter ist durch eine Holzwand, die sich ebenfalls parallel dem Kegelboden auf den Unterbau stützt, in einem Abstande von 1,0 m umschlossen und durch ein flaches Sparrendach abgedeckt. Der Cylinder des Behälters hat die Blechstärken von 6 bis 7 und 8 mm, der Kegelboden 15 mm und der Gegenboden 12 mm Stärke.

Einige bemerkenswerte Eigentümlichkeiten besitzt der Wasserturm für das städtische Wasserwerk in Schiedam (Holland). Er ist in einer Tiefe von 6,0 m auf einen Pfahlrost mit darüber liegender Betonplatte von 0,60 m Dicke gegründet. Die Fundamentmauern haben bis Bodenoberfläche eine Stärke von 1,20 m; von dieser bis zum Auflagerringe hat der Turm eine Höhe von 18,0 m; in dieser Höhe eine Lichtweite von 10,60 m und noch eine Mauerstärke von 0,60 m. Die unterirdischen Fundamentmauern umschliessen einen gewölbten Wasserbehälter, und darüber befindet sich im Erdgeschosse der Maschinenraum mit den Pumpen, woran in einem Anbaue an den Wasserturm das Kesselhaus mit dem Kamine sich schliesst. Der Behälter über dem Auflagerring hat stützenden Kegelboden mit Gegenboden und durchhängendem Kugelboden; der Auflagerring hat 11,20 m Durchmesser, der Behälter einen solchen von 13,0 m.

Der Wasserturm des Wasserwerkes Kiel steht in seinem Unterbaue auf dem alten Wasserbehälter, welcher ein cylindrischer, massiver Bau ist von 23,7 m lichtem Durchmesser und 6,0 m Höhe mit gewölbter Decke. Darüber ist der neue Hochbehälter nach Intzes System errichtet mit 1500 cbm Fassungsraum und 26,7 m äusserem Durchmesser bei 15,9 m innerer Lichtweite und 5,0 m Höhe. In dem Raume unter dem Behälter sind 2 Gasmotoren von je 15 Pferdestärken mit 2 Pumpen von je 125 cbm Stundenleistung zum Heben des Wassers aus dem Unter- in den Oberbehälter aufgestellt.

Ein grosser dreistöckiger Wasserbehälter steht auf dem Montmartre in Paris; er hat ein Wasserfassungsvermögen von 11000 cbm. Im untersten Stockwerke ist die Wasserhöhe etwa 5,0 m, und die Mauern haben eine Dicke von 3,60 m; er ist ganz unterkellert, damit alle etwaigen Durchsickerungen sofort bemerkt und abgeleitet werden können. Im zweiten Stock ist die Wasserhöhe noch 3,50 m und im dritten Stock 1,50 m. Empfehlenswert sind solche ausgedehnte oberirdische Bauwerke für Wasseransammlung nicht, denn sie sind nicht nur kostspielig in der Anlage, sondern verursachen auch beträchtliche Unterhaltungskosten.

Die Bauweise der Sammelbehälter jeder Art ist so mannigfaltig wie die einschlägigen örtlichen Verhältnisse, besonders die verfügbaren Geldmittel, dass es im vorliegenden Werke unmöglich ist, eine Übersicht davon zu geben; das allgemein Wichtige mag hier genügen. Mit Rücksicht auf die bedeutenden Kosten, welche die Herstellung von Sammelbehältern in entsprechender Höhenlage verursacht, sucht man vielfach durch einen möglichst beweglichen Pumpenbetrieb in Verbindung mit Einrichtungen zur Festhaltung eines bestimmten Wasserdruckes die Sammelbehälter entbehrlich zu machen. Diese Nebeneinrichtungen sind:

1. Standröhren, die senkrecht bis zur gewünschten Höhe aufgestellt und hier mit einem Überlaufsrohre verbunden werden; je weiter man die Standröhren macht, desto mehr können sie zugleich als kleiner Sammelbehälter angesehen werden, welcher die augenblicklichen Schwankungen im Wasserverbrauche auszugleichen vermag. Die Lichtweite des Überlaufrohres ist für die grösste Liefermenge der Pumpen mit Zugrundelegung einer Geschwindigkeit im Rohre von höchstens 1,50 m zu berechnen. Bei weiten Standröhren kann das Überlaufsrohr zweckmässig im Innern des Standrohres in die Höhe geführt werden; die Befestigung der beiden Röhren auf ihrem Standorte wird dadurch eine einheitliche und deshalb einfachere und sicherere. Das Fundament unter den Standröhren muss entsprechend der Belastung und der Beschaffenheit des Bodens eine ausreichende Grundfläche haben; ausserdem werden die Standröhren durch Drahtseilverankerungen gegen Seitenschwankungen geschützt. Des geringeren Gewichtes wegen werden für die Stand- und Überlaufsröhren gewöhnlich schmiedeeiserne Röhren mit Flantschverbindung angewendet. In der Zahl der Standröhren ist man nur durch die Kosten beschränkt, auch können sie an verschiedenen Orten, z. B. in Kirchtürmen aufgestellt werden.

2. Die Accumulatoren bestehen in einem länglichen Kolben, der sich mittels Stopfbüchse in einem mit den Pumpen in Verbindung stehenden senkrechten Druckrohre bewegen kann; der oberhalb der Stopfbüchse befindliche Teil des Kolbens ist durch ein Gewicht belastet, das so gross ist, dass der Druck des

Kolbens auf das im Druckrohre befindliche Wasser gleich ist dem erforderlichen Betriebsdruck. Der Kolben muss genügende Länge und Querschnitt haben, um die kleinen Schwankungen im Wasserverbrauche durch seine Auf- oder Abwärtsbewegung ausgleichen zu können. Da die Verbrauchsschwankungen um so grösser werden, je höher der Stundenverbrauch ist, so wachsen demnach die Kosten für die Anlage von Accumulatoren mit der Grösse des Wasserverbrauches beträchtlich; infogedessen sind ihrer Anwendung bestimmte Grenzen gezogen, und man findet sie meist nur bei kleinen Wasserversorgungen.

3. Die Druckwindkessel werden auch hierher gerechnet, obwohl sie eigentlich nur die Ausgleichung der Druckschwankungen im Druckrohre, die infolge der Verbrauchsschwankungen entstehen, bewirken, aber keine nennenswerte Wassermenge aufspeichern können. Die Druckwindkessel regeln hauptsächlich den gleichmässigen Gang der Pumpen, aber nicht bloss durch die Festhaltung einer bestimmten Druckhöhe, sondern vor allem auch durch Aufnahme der durch die hubweise Förderung des Wassers sich ergebenden Stösse in den Druckröhren; die Pumpen müssen deshalb auch bei Vorhandensein eines grossen Sammelbehälters mit Druckwindkesseln ausgestattet sein, welche überhaupt einen Bestandteil der Pumpenanlage bilden.

Neunter Abschnitt.

Die künstliche Hebung des Wassers auf die Höhe des erforderlichen Betriebsdruckes.

Häufig hat das Entnahmegebiet des Wassers nicht eine solche Höhenlage, welche die Zuleitung desselben zu dem Versorgungsgebiete mittels natürlichen Gefälles gestattet; das Wasser muss dann mittels Maschinen so hoch gehoben werden, dass am Versorgungsorte der gewünschte Druck vorhanden ist. Die Arbeit, welche dazu erforderlich ist, erhält man durch

$$51)\ A = \frac{W \,.\, H \,.\, \gamma}{75}, \text{ worin}$$

W = Wassermenge in der Sekunde in cbm;
H = Förderhöhe in m;
γ = 1000 kg = Gewicht von 1 cbm Wasser;
A = Nutzleistung in Wasser-Pferdestärken, d. h. die Pferdestärke, welche der gehobenen Wassermenge entspricht.

W ergibt sich aus den mittleren Tagesverbrauche T_m; die Fördermenge W erhält verschiedene Werte, je nachdem der Betrieb mit oder ohne Sammelbehälter unterhalten und je nach der Stundenzahl, welche die Hebungsmaschine täglich arbeiten soll.

Ohne Sammelbehälter ergibt sich die Höchstleistung durch die Lieferung des grössten Stundenverbrauches während des grössten Tagesverbrauches; in diesem Falle wird

$$51a)\ W_h = \frac{T_m \,.\, 2{,}25}{24 \,.\, 3600} = 0{,}000026 \,.\, T_m \text{ Sekunden-cbm,}$$

und die Fördermaschine muss unaufhörlich in Betrieb sein, dabei allen Schwankungen des Tagesverbrauches unterworfen.

Mit einem Sammelbehälter von genügender Grösse ist die Höchstleistung der Hebungsmaschine bei täglich n Stunden Arbeitszeit

$$51b)\ T_m \,.\, \frac{1{,}5}{n \,.\, 3600} = 0{,}000417 \,.\, \frac{T_m}{n} \text{ Sekunden-cbm,}$$

für n = 24 Stunden ist W = 0,000017 T_m Sekunden-cbm,
„ n = 12 „ „ W = 0,000034 T_m „ „ .

Die Förderhöhe H setzt sich zusammen aus dem Höhenunterschied zwischen Saugwasserspiegel und Auslaufmündung des Druckrohres und den durch die Wasserförderung entstehenden Druckverlusten in Saug- und Druckröhen; bezeichnet man die erstgenannten mit H_u und letztgenannte mit H_v, so ist $H = H_u + H_v$. Die Grösse von H_u ist durch die örtlichen Verhältnisse bedingt und daher sehr verschieden; die Grösse von H_v ist durch die Lichtweite und Länge der Saug- und Druckröhren, sowie auch durch die Bauweise der Pumpen bestimmt, und daher ebenfalls von den örtlichen Verhältnissen wesentlich abhängig. Danach beträgt die Arbeitsleistung der Fördermaschine

1. ohne Sammelbehälter:

$$52)\ A = \frac{1000 \,.\, 0{,}000026\ T_m \,.\, (H_u + H_v)}{75}$$

$$= 0{,}000346 \,.\, T_m \,.\, (H_u + H_v) \text{ Pferdestärken,}$$

2. mit Sammelbehälter:

a) für 24 Stunden Betrieb:

$$53)\ A = \frac{1000 \,.\, 0{,}000017 \,.\, T_m\ (H_u + H_v)}{75}$$

$$= 0{,}0002266 \,.\, T_m\ (H_u + H_v) \text{ Pferdestärken,}$$

b) für 12 Stunden-Betrieb:

$$A = 0{,}00004533 \,.\, T_m\ (H_u + H_v) \text{ Wasser-Pferdest. (W.-Pf.).}$$

Der Betrieb ohne Sammelbehälter erfordert demnach stärkere Maschinen und grössere Lichtweite der Saug- und Druckröhren und dementsprechend nicht nur grössere Anlage-, sondern auch beträchtlich höhere Betriebskosten als der Betrieb mit Sammelbehälter; auch der Wasserverbrauch ist erheblich grösser, weil selbst bei möglichst günstigster Verteilung der Arbeitsleistungen der Maschinenanlage auf die Tagesbedürfnisse immer noch zeitweise grössere Wassermengen unbenützt zum Über- bezw. Ablaufe gelangen. Ein Betrieb ohne Sammelbehälter ist daher im allgemeinen nur erträglich für kleinere Wasserbedürfnisse und wenn überhaupt reichlich Wasser im Entnahmegebiet zur Verfügung steht.

Der 12stündige Betrieb erfordert nur einfache Besetzung des erforderlichen Betriebspersonales (Maschinenwärter, Heizer), während der 24stündige Betrieb doppelte Besetzung nötig macht. Für kleinere Wasserwerke wird deshalb gewöhnlich der für den 12 Stunden-Betrieb erforderliche Mehraufwand übernommen, um nicht doppeltes Betriebspersonal halten zu müssen. Für grössere Anlagen erreichen jedoch diese Mehrkosten eine solche Höhe, dass sich die doppelte Besetzung des Maschinenpersonals reichlich lohnt. Die Grösse der Sammelbehälter kann auf das geringste Mass beschränkt werden, die Kraft- und Arbeitsmaschinen mit den Saug- und Druckleitungen sind nur für die Hälfte zu bemessen, sowie auch infolgedessen die Räume für Unterbringung der Maschinen und ihre Fundamente entsprechend verringert werden können.

Die Kräfte, welche zur Wasserhebung für Wasserversorgungen angewendet werden, sind:

1. *Die Wasserkräfte*, welche den fliessenden Gewässern abgewonnen werden können und deren Grösse durch folgende Gleichung ausgedrückt wird:

$$54)\ L = \frac{Q \cdot G \cdot \gamma}{75} = 13{,}333 \cdot Q \cdot G \text{ Pferdestärken.}$$

Diese dem fliessenden Wasser innewohnende Kraft wird jedoch nicht in vollem Masse von der Kraftmaschine nutzbar gemacht, sondern je nach deren Bauweise und Behandlung nur ein Teil derselben, nämlich nur $\alpha \cdot L$. Die in der Kraftmaschine nutzbar vorhandene Leistung $\alpha \cdot L$ wird auf die Arbeitsmaschine, d. h. die Pumpen übertragen, wobei ebenfalls wieder ein mehr oder weniger grosser Kraftverlust stattfindet, je nachdem die Übertragung eine unmittelbare ist, oder durch Zwischenglieder, Vorgelege, vermittelt wird; die in den Pumpen erzielte Leistung ist also nur $\alpha \cdot \beta \cdot L$, wobei α und β eine der betreffenden Maschinenkonstruktion zukommende Erfahrungszahl bezeichnet.

Soll eine Wasserkraft demnach genügen, um eine bestimmte Wasserförderung zu bewältigen, so muss folgender Gleichung entsprochen werden:

$$A = \alpha \cdot \beta \cdot L \text{ oder}$$

$$\frac{W \cdot H \cdot \gamma}{75} = \alpha \cdot \beta \cdot \frac{Q \cdot G \cdot \gamma}{75}.$$

$$55)\ W \cdot H = \alpha \cdot \beta \cdot Q \cdot G \text{ und } Q \cdot G = \frac{W \cdot H}{\alpha \cdot \beta} \text{ Pf.}$$

Da α sowohl wie β kleiner als 1,0 ist, so ist danach $Q \cdot G$ entsprechend grösser als $W \cdot H$; und ferner muss berücksichtigt werden, dass die von den Gewässern geführten Wassermengen sehr veränderlich sind und besonders in der warmen Jahreszeit, wenn der Wasserverbrauch am grössten wird, ihr Mindestmass erreichen. Ebenso sind auch die Gefälle nicht unveränderlich, indem sie bei Hochwasser durch Rückstau des Unterwassers, sowie auch durch die Ausnutzung von Wasserberechtigungen, z. B. auch durch Aufstau, wesentlich verringert werden können. Wenn die Wasserhebung eine ungestörte sein soll, muss diesen Verhältnissen Rechnung ge-

tragen werden, d. h. der möglicherweise eintretende ungünstigste Wasserstand muss immer noch so gross sein, dass $Q \, . \, G = \frac{W \, . \, H}{\alpha \, . \, \beta}$ wird.

Eine weitere Beeinträchtigung der Wasserkräfte ergibt sich aus dem Verhalten der Gewässer bei Frostwetter, namentlich durch das Treiben des Grundeises, sowie auch ferner durch grössere und häufige Anschwemmung von Schwimmstoffen, wie Laub und Holz u. dgl. Die Wahl der anzuwendenden Wasserräder ist wesentlich bedingt durch die erwähnten Eisverhältnisse und Anschwemmungen, und damit zugleich die Grösse der Ausnutzung der vorhandenen Wasserkraft, d. h. der Wert von α. Im allgemeinen sind nämlich gerade diejenigen Wasseräder am empfindlichsten gegen im Wasser vorhandene Fremdkörper, welche die grössten Leistungen aufweisen.

Die Wasserräder kann man zunächst unterscheiden in solche, welche frei oder teilweise in einem Gerinne und zwar mit wagrechter Welle in mässiger Geschwindigkeit umlaufen, und in solche, die sich in einem Gehäuse um senkrechte oder auch wagrechte Welle mit grosser Geschwindigkeit bewegen, und die man allgemein als Turbinen bezeichnet.

Die freilaufenden Wasserräder unterscheiden sich wieder, wie in folgender Tabelle (S. 330) aufgeführt ist, welche zugleich deren Wirkungsgrad α und Geschwindigkeit enthält.

Die freilaufenden Wasserräder erfordern einfache und nicht zu kostspielige bauliche Anlagen, bedürfen zur ihrer Behandlung und Unterhaltung verhältnismässig einfacher und wenig teurer Mittel, sie sind im allgemeinen nicht sehr empfindlich gegen Grundeis und andere Schwimmstoffe; der Bau solcher Wasserräder kann aber nur für Gefälle bis 12,0 m und Leistungen bis 50 Pf. noch zweckmässig ausgeführt werden. Darüber hinaus muss entweder eine Teilung des Gefälles oder eine Zerlegung der Kraftanlage in mehrere Wasserräder vorgenommen werden.

Zum Betriebe von Pumpen haben die freilaufenden Wasserräder den Vorzug einer annähernd gleichen Umdrehungszahl wie die Pumpen, meist sogar etwas geringere als für Pumpen üblich.

Tabelle VIII.
Über freilaufende Wasserräder.

Bezeichnung der Wasserräder	α	Geschwindigkeit in Metern	Umdrehungszahl in der Minute
Unterschlächtige Räder mit Schussgerinne	0,30—0,35	1,5—2,0	$4{,}23\sqrt{G}$ bis $8{,}45\sqrt{G}$
„ „ „ Kropfgerinne	0,40—0,50		
Kropfräder mit Überfalleinlauf . . .	0,60—0,70	1,5—2,0	
Ponceleträder	0,60—0,65	$2{,}44\sqrt{G}$	$\frac{11{,}65}{\sqrt{G}}$
Zuppingerräder	0,65—0,75	1,20	$\frac{10{,}25}{G}$
Rückenschlächtige Zellenräder mit Spannschütze	0,60—0,70	1,25—1,5	$\frac{19{,}5}{G}$
Rückenschlächtige Zellenräder mit Überfallschütze	0,60—0,70	1,25—1,5	
Oberschlächtige Räder für Gefälle unter 5,0 m	0,60—0,65	$0{,}65\sqrt{G}$	$\frac{13{,}25}{\sqrt{G}}$
Oberschlächtige Räder für Gefälle von 5,0 bis 12,0 m	0,65—0,75		
Turbinen	0,70—0,75	$1{,}8\sqrt{G}$ bis $2{,}8\sqrt{G}$	sehr gross und sehr verschieden

Man kann daher die Kolbenstange der Pumpe unmittelbar durch Kurbel mit der Radwelle verbinden und damit die Übertragung der Kraftleistung des Wasserrades auf den Pumpenbetrieb in der günstigsten Weise bewirken. In neuerer Zeit erhalten die Pumpen für Maschinenbetrieb aber eine höhere Geschwindigkeit, 40 bis 60 Doppelhube oder Umdrehungen in der Minute, infolge der verbesserten Pumpenventile, die einen stossfreien Gang auch bei diesen Geschwindigkeiten ermöglichen. Die Ausmasse der Pumpwerke fallen mit Zugrundelegung einer grösseren Geschwindigkeit erheblich kleiner aus, die ganze Anlage wird leichter und billiger, deshalb zieht man bei langsam gehenden Wasserrädern es vor, die Kraftübertragung auf die Pumpen durch Vorgelege zu vermitteln, besonders wenn das Wasser auf grosse Höhe zu fördern ist. Für kleine Druckhöhen der gehobenen Wassersäule ist der Unterschied in der Stärke der Pumpen für kleine und grosse

Geschwindigkeit nicht sehr erheblich und ist daher in diesem Falle die unmittelbare Kuppelung der Pumpe mit der Wasserradwelle wegen des ruhigen, sicheren Ganges und wegen des Kraftgewinnes vorzuziehen.

Die Turbinen haben viel grössere Umdrehungszahlen als die freilaufenden Wasserräder; in Fällen, wo die Umdrehungszahl nicht zu gross und die Hubzahl der Pumpen mit stossfreien Ventilen möglichst hoch angenommen werden kann, lassen sich auch die Pumpen mit den Turbinen unmittelbar kuppeln, einerlei ob die Turbinenwelle senkrecht oder auch wagrecht steht.

Für den Betrieb von Zentrifugalpumpen, welche sehr hohe Umdrehungszahlen haben, eignen sich besonders schnellgehende Turbinen, indem hier unmittelbare Kraftübertragung stattfinden kann, besonders wenn die Turbine um eine wagrechte Welle läuft.

Während die freilaufenden Wasserräder nur bei höchstens 12,0 m Gefälle ausführbar sind, kann man mittels Turbinen beliebig grosse Gefälle ausnützen; auch wird der Turbinenbetrieb durch eintretenden Aufstau des Unterwassers nicht gestört. Folgende Tabelle (S. 332) von Abegg ergibt übersichtlich die zweckmässige Wahl der Wasserkraftsmaschine für die verschiedenen Wasserverhältnisse.

Für kleinere Wasserkräfte mit hohen Gefällen kommen noch die sogenannten Kolbenmaschinen in Anwendung; das Wasser wirkt hier, wie der Dampf in einer Dampfmaschine, mit seinem Drucke unmittelbar auf einen Kolben, dessen hin und her gehende Bewegung durch Umsteuerung des Wasserein- und -ablaufes veranlasst wird; die bekanntesten dieser Motoren sind die von Schmid und die von Kröber. Sie sind gegenüber schmutzigem Betriebswasser sehr empfindlich und nutzen sich dabei rasch ab; ihr Nutzeffekt ist 70 bis 85 %, auch können sie zugleich als Pumpen benutzt werden.

Bei den meisten Wasserkraft-Anlagen für Wasserhebung muss wegen der vorkommenden Störungen in der Benutzung der Wasserkraft durch Hochwasser, Eisgang, Ausbesserungs- und Reinigungsarbeiten, noch eine Dampfmaschine in Bereitschaft stehen, die Wasserkraft zu ersetzen. Je nachdem diese Thätigkeit der Ersatzkraft jährlich längere oder kürzere Zeit in Anspruch ge-

Tabelle IX.

Vergleichende Zusammenstellung der Wasserräder.

Gefälle in m	Wassermenge entweder gar nicht oder nur wenig veränderlich	Wassermenge und Gefälle veränderlich
0,1—0,3	Unterschlächtiges Rad im freien Strom oder Ponceletrad.	Schwimmendes unterschlächtiges Rad.
0,3—1,0	Zuppingerrad oder auch unterschlächtiges Rad im Gerinne.	Zuppingerrad.
1—3	Zuppingerrad oder Reaktionsturbine (Jonval).	Reaktionsturbine mit Reguliervorrichtung und Luftzuführung; bei Stauwasser unter 1,0 m. Zuppingerrad.
3—6	Reaktionsturbine (Jonval). Aktionsturbine (Girard).	Reaktions- oder Aktionsturbine; bei Stauwasser unter 0,5 m rück- oder oberschlächtiges Rad.
6—12	Reaktionsturbine, Aktionsturbine.	Reaktions- oder Aktionsturbine; bei Stauwasser unter 0,5 m ein oberschlächtiges Rad.
12—24	Bis 2 Pf. Schmids Motor, sodann Aktionsturbinen.	Aktionsturbinen mit Reguliervorrichtung.
24—50	Bis 4 Pf. Schmids Motor, dann Aktionsturbinen.	Aktionsturbinen mit Reguliervorrichtung.
50—100	Bis 6 Pf. Schmids Motor, dann Aktionsturbinen.	Aktionsturbinen mit Reguliervorrichtung
100—300	Aktionsturbinen.	Aktionsturbinen mit Reguliervorrichtung

nommen werden muss und je nach der Entfernung der Wasserkraft-Anlage von dem Versorgungsgebiete kann es unter Umständen vorteilhafter sein, auf die Wasserkraft-Benutzung ganz zu ver-

zichten und eine einheitliche Kraftanlage in günstigster Lage zum Versorgungsgebiete herzustellen. Die damit zu erzielende Ersparnis an Bau- und Unterhaltungskosten wiegt oft reichlich den Gewinn durch die Wasserkraft auf, besonders, wenn man berücksichtigt, dass die Wasserkraft Tag und Nacht immerwährend verrinnt, ob sie verbraucht werden kann oder nicht, während z. B. die Dampfkraft dem jeweiligen, wechselnden Bedarf entsprechend erzeugt und auch benutzt wird, und auch bezüglich der Kraftleistung der grössten Beweglichkeit nach Bedürfnis fähig ist.

2. *Die Dampfkraft* findet deshalb und wegen der verhältnismässig geringen Anlagekosten die häufigste Verwendung für die Wasserbeförderung.

Um 1 k Dampf zu erzeugen sind durchschnittlich 650, mit Vorwärmer 570 Wärmeeinheiten erforderlich, und man kann mit den verschiedenen Brennmaterialien folgende Dampfmengen im Mittel erzeugen:

1 k	Steinkohle	gibt im Mittel	5 bis 9	k	Dampf
1 „	Braunkohle	„ „ „	2 „ 4	„	„
1 „	Torf	„ „ „	2 „ 3	„	„
1 „	Holz	„ „ „	2,5	„	„

Selbstverständlich ändern sich diese Werte mit der Güte des Brennstoffes.

Mit Bezug auf die Wasserförderung kommt die Güte eines Brennstoffes und der Maschinenanlage durch das Produkt aus der gehobenen Wassermenge für je 1 k Brennstoff mit der Förderhöhe zum Ausdruck, nämlich $W_k \cdot H$, worin W_k = Wassermenge durch 1 k Brennstoff, H = Förderhöhe.

Nach Lueger kann man als die jederzeit erreichbare mittlere Leistung mit 1 k guter Steinkohle bei einer gut durchgeführten Maschinenanlage bezeichnen:

1. Bei grossen Anlagen von 100 Pf. und darüber 225 bis 270 000 Kilogrammmeter.

2. Bei mittleren Anlagen von 25 bis 100 Pf. 108 bis 225 000 Kilogrammmeter.

3. Bei kleinen Anlagen bis zu 25 Pf. 68 bis 108 000 Kilogrammmeter.

Daraus ergibt sich der Kohlenbedarf für 1 Stunde und 1 Wasserpferdestärke:

Zu 1. mit $\frac{75 . 3600}{22\,500}$ bis $\frac{270\,000}{270\,000}$ = 1,2 bis 1 k Kohlen.

Zu 2. mit $\frac{270\,000}{108\,000}$ bis $\frac{270\,000}{225\,000}$ = 2,5 bis 1,2 k Kohlen.

Zu 3. mit $\frac{270\,000}{68\,000}$ bis $\frac{270\,000}{108\,000}$ = 4 bis 2,5 k Kohlen.

Die Dampfkessel sollen mit Rücksicht auf möglichst gesicherten Betrieb von einfacher Bauweise sein, mit Siederöhren oder Flammröhren, indem diese Kessel in der Behandlung nicht sehr empfindlich sind und grossen Dampfraum besitzen, so dass etwaige Versäumnisse in der Bedienung der Kessel nicht gleich störend sich bemerkbar machen. Der Dampfüberdruck wird für die Kessel bis höchstens auf 7 bis 8 Atmosphären getrieben; für höheren Dampfdruck, sowie für Betriebsfälle, welche eine sehr rasche Dampfentwickelung erfordern, empfehlen sich die Röhrenkessel, die in der Behandlung schwieriger sind, sowie auch bezüglich ihrer Reinigung. Durch eine starke Einmauerung der Kessel verringert man die Wärmeverluste, welche bei Betriebsunterbrechungen durch die Abkühlung des Mauerwerks entstehen. Die Grösse der Kessel ergibt sich daraus, dass für je 1 Wasser-Pferdestärke 2 bis 3 qm Heizfläche zu rechnen sind.

Die Dampfmaschinen unterscheiden sich dadurch vor allem, dass die einen den Dampf nur durch Expansion, die andern durch Expansion und Kondensation ausnutzen; letztere verlangen einen höheren Dampfdruck, 6 bis 8 Atmosphären ergeben aber eine günstigere Verwertung des Dampfes als die Auspuffmaschinen, die nur mit Expansion arbeiten.

Die Kondensationsmaschinen erfordern jedoch eine sorgfältigere Bedienung und Unterhaltung, sind auch erheblich teurer als die Expansionsmaschinen, abgesehen davon, dass sie etwa das 25fache des Kesselspeisewassers als Kondensationswasser verbrauchen. Für kleine Maschinenanlagen ist die Kohlenersparnis nicht sehr bedeutend, so dass man darauf verzichtet und gewöhnlich die einfacheren Auspuffmaschinen wählt.

Die Expansionsmaschinen haben nur einen Dampfcylinder, in welchem die Expansion durch eine Steuerung geregelt wird; die Kondensationsmaschinen haben 2 oder sogar 3 Cylinder, wovon der eine der Hochdruck-, die anderen die Niederdruckcylinder sind, in welchen sich die Expansion vollzieht; man bezeichnet sie als Verbundmaschinen (Compound).

Die Übertragung der Dampfkraft auf die Pumpen geschieht am wirksamsten, wenn Dampf- und Pumpenkolben eine gemeinschaftliche horizontale Achse haben. Diese Anordnung veranlasst geringen Kraftverlust, alle Bewegungsteile befinden sich im Gleichgewichte, und die Maschine ist leicht zugänglich in allen ihren Teilen. Da bei der Kolbenbewegung für jeden Hub der tote Punkt (Anfang und Ende der Bewegung) zu überwinden ist, so ist diese Bewegung teils eine gleichmässig beschleunigte, teils gleichmässig verzögerte, und dies gilt sowohl für die Dampf- als für die Pumpenkolben. Diese ungleichmässige Bewegung sucht man dadurch auf das geringste Maass zu bringen, dass man die Achsen der Dampf- und Pumpenkolben an eine gemeinschaftliche Schwungradwelle kuppelt oder mit den beiden Armen eines Balanciers verbindet; ferner stellt man die Kurbelarme der Dampfkolben gegenüber denjenigen der Pumpen in einen Winkel von 90°, so dass der eine Kolben seine grösste Geschwindigkeit erreicht, wenn der andere am toten Punkte anlangt. Ist, wie gewöhnlich, eine zweite Pumpe an der gemeinschaftlichen Schwungradwelle vorhanden, so wird deren Kurbelarm zu demjenigen der ersten Pumpe in einen Winkel von 45° gestellt, so dass, wenn der Dampfkolben seine grösste Geschwindigkeit erreicht, der eine Pumpenkolben am toten Punkt, der andere aber im ersten oder letzten Viertel seines Hubes eintrifft. Auf gleiche Weise wird bei den Verbundmaschinen mit 2 oder 3 Dampfcylindern, die nebeneinander mit gemeinschaftlicher Kurbelwelle liegen, durch Verstellung der Kurbelarme gegeneinander die Bewegung der Kolben möglichst gleichmässig gemacht.

Dampfmaschinen ohne Schwungrad (wie die Werthingtonpumpen) können daher durch Anordnung der Kurbeln, besonders wenn sie zwei Dampfcylinder haben, schon einen gewissen Grad

von Gleichmässigkeit in die Bewegung bringen; dabei gestatten diese Hubmaschinen ohne erhebliche Erhöhung der Betriebskosten eine beliebige Veränderung ihrer Leistung unter dem Höchstmaass durch Verminderung des Dampfverbrauches und der Geschwindigkeit, was bei Schwungradmaschinen nur innerhalb enger Grenzen möglich ist. Die Hubmaschinen beanspruchen weniger Raum und leichtere Fundamente, sowie auch geringere Anschaffungskosten als die Schwungradmaschinen; dagegen ist ihr Kohlenverbrauch bei gleicher Leistung wesentlich grösser als bei jenen.

Die Pumpen müssen häufig teils wegen der tiefen Lage des Saugwasserspiegels, teils auch, wenn das Wasser häufig stark getrübt ist, eine senkrechte Stellung erhalten; in diesem Falle hat man in neuerer Zeit, besonders in England und in Amerika, Schwungradmaschinen gebaut, die für Dampf- und Pumpenkolben eine gemeinsame, senkrechte Achse haben. Diese Anordnung beansprucht weniger Raum für Aufstellung, ist wegen beschränkter Zugänglichkeit aber schwieriger zu bedienen und auch teurer in der Anschaffung als die wagerechte Maschinen-Anordnung. Die senkrechten Bewegungsteile der Dampfmaschine und Pumpen sind nicht mehr im Gleichgewicht, da sie bei dem Auf- und Niedergange der Schwerkraft einmal entgegen, das andere Mal in deren Richtung wirken.

Die Grösse und Anzahl der aufzustellenden Dampfmaschinen muss nach den voraussichtlichen Schwankungen des Wasserverbrauches im Laufe eines Jahres bemessen werden, insbesondere ist ein etwa vorhandener Sammelbehälter, sowie dessen Grössenverhältnis zum durchschnittlichen Tagesverbrauche maassgebend. Bei kleinen Anlagen ist ausschlaggebend, ob man nur Tagesbetrieb oder auch Nachtbetrieb einführen will. Da der grösste Tagesverbrauch das 1,5fache, der kleinste im Winter das 0,75fache des durchschnittlichen beträgt, so ist der kleinste Tagesverbrauch nur die Hälfte des grössten; stellt man daher zwei Dampfmaschinen auf, wovon jede ihre günstigste Leistung bei Förderung des kleinsten Tagesverbrauches $= 0{,}75\ T_m$ hat, so kann eine Maschine allein in 24 Stunden den grösseren Teil des Jahres hindurch dem Bedarfe ohne Sammel-

behälter genügen, da eine kleine Steigerung ihrer Leistung ihren Nutzeffekt noch nicht sehr beeinträchtigt; die zweite Maschine steht dann immer als Ersatz in Bereitschaft. Für den Jahresteil mit erhöhtem Verbrauche wäre die zweite Maschine an einzelnen Tagen mehrere Stunden in Betrieb zu setzen, um die erste 24 Stunden arbeitende Maschine zu unterstützen; ihre Bereitstellung zum Ersatz würde also zeitweise unterbrochen.

Um diese zeitweise Verwendung der Ersatzmaschine zu vermeiden, ist demnach, bei Mangel eines Sammelbehälters, noch eine dritte Maschine von der Leistung 0,75 T_m aufzustellen; damit ist der Betrieb für alle Fälle gesichert, selbst auch noch für einen sich steigernden Bedarf, und man kann durch Einstellung der zweiten Maschine auf entsprechende Zeit den Schwankungen des Bedarfes folgen. Mit 4 Maschinen von je 0,50 T_m Leistung könnte natürlich dieser Zweck noch besser erreicht werden, die Anlagekosten würden sich aber auch erhöhen, und die Grenze der Zweckmässigkeit, ob 3 oder mehr Maschinen aufzustellen sind, ist nur durch vergleichende Berechnung der Anlage- und Betriebskosten festzustellen. Mit der Grösse des Wasserbedarfes wächst die Zahl der Maschinen, weil erstens die Grösse der Einzelmaschinen schon mit Rücksicht auf deren Ausführung und Fundierung eine begrenzte ist und weil die auszugleichenden Bedarfsschwankungen mit der Zunahme des Durchschnittsbedarfes auch verhältnismässig wachsen und beträchtliche Maschinenleistungen in Anspruch nehmen.

Soll nur Tagesbetrieb eingeführt werden, was übrigens nur für kleinere Anlagen mit Sammelbehälter angängig ist, so ist die Grösse der Maschinen für den Betrieb ohne Sammelreservoir das Doppelte der oben angegebenen, nämlich je 1,5 T_m Tagesleistung bei 2 oder 3 Maschinen, 1,0 T_m bei 4 Maschinen. Bezeichnet n die Zahl, mit welcher T_m multipliziert werden muss, um die Tagesleistung einer Maschine, ausgedrückt durch die geförderte Wassermenge, zu erhalten, so ist die erforderliche Leistung der Maschine in Wasser-Pferdestärken:

$$56)\quad \text{W.-Pf.} = \frac{n \,.\, T_m \,.\, H \,.\, 1000}{\alpha \,.\, \beta \,.\, 86400 \,.\, 75} = \frac{n \,.\, T_m \,.\, H}{6480 \,.\, \alpha \,.\, \beta},$$

H = Förderhöhe = $(H_u + H_v)$ in Metern,

T_m = Durchschnittlicher Tagesbedarf in Kubikmetern,

von α und β bezeichnet α den Wirkungsgrad der Dampfmaschine bezüglich der Ausnützung der Dampfkraft und β den Wirkungsgrad der Übertragung der Maschinenkraft auf die Pumpen. Diese beiden Erfahrungszahlen sind in ihrem Werte durch die Güte der Maschinenanlage für sich und dann aber auch durch die mehr oder weniger sorgfältige Betriebsführung und Maschinenunterhaltung bestimmt. Sie sind daher für eine und dieselbe Maschine auf die Dauer nicht immer von gleicher Grösse. Im allgemeinen kann man bei guten Maschinen den Wert von $\alpha \,.\, \beta$ zu 0,70 annehmen, wonach obige Gleichung für die theoretische Pferdestärke der Maschinen zu folgender wird:

$$56\text{a)}\quad L_d = \frac{n \,.\, T_m \,.\, H}{4536}\ \text{W.-Pf.}$$

Es ist dies diejenige Leistung, welcher die aufgewendete Dampfkraft entsprechen muss, um die Nutzleistung:

$$57)\quad L_n = \frac{n \,.\, T_m \,.\, H}{6480}\ \text{W.-Pf.}$$

zu erzielen. Die aufgewendete Dampfleistung L_d ist also $= 1{,}43 \,.\, L_n$.

Wird der Betrieb durch einen Sammelbehälter unterstützt, dann wird bei dem Vorhandensein von nur zwei Maschinen mit je 0,75 T_m die zeitweise gleichzeitige Benützung beider Maschinen für die Sicherheit des Betriebes nicht sehr bedenklich, wenn man nur dafür sorgt, dass im Sammelbehälter immer ein gewisser Vorrat vorhanden ist; je grösser der Sammelbehälter, desto eher lässt sich dies erreichen. Noch mehr wird diese Aufgabe der Sicherung eines bestimmten Wasservorrates erleichtert, wenn die beiden Maschinen für 12 stündigen Tagesbetrieb angelegt sind mit einer Leistung von je 1,5 T_m; denn in diesem Falle braucht überhaupt immer nur eine Pumpe in Thätigkeit zu sein, wenn man ihre tägliche Betriebsdauer derart regelt, dass immer bei Aufhören des Pumpens im Sammelbehälter reichlicher Vorrat für die Zeit der Unterbrechung vorhanden ist.

Kleine Wasserwerke für einen mittleren Wasserbedarf von

1000 bis 1500 cbm täglich können sehr wohl mit einer zweifachen Maschinenanlage, wovon jede den mittleren Tagesbedarf als günstigste Leistung besitzt, auskommen, wenn ein Sammelbehälter vorhanden ist, dessen Fassungsraum ebenfalls dem mittleren Tagesbedarf annähernd entspricht. Es genügt, wenn hier zunächst nur der Raum im Maschinen- und Kesselhause für eine später aufzustellende dritte Maschine vorgesehen wird.

Grössere Wasserwerke erhalten auch bei Mitwirkung eines Sammelbehälters am besten gleich drei Einzelmaschinen, jede mit einer Leistung von 0,75 T_m in 24 Stunden, ebenfalls mit Vorsehung genügenden Raumes zur Aufstellung weiterer Maschinen für den Fall beträchtlicher Bedarfszunahme.

Zur Ergänzung des Vorhergehenden mögen noch folgende Beispiele dienen:

Für einen mittleren Tagesbedarf von 2000 cbm und eine Förderhöhe H = 50,0 m sei die Dampfmaschine mit einer Leistung von 1,50 T_m anzulegen, dann ist

$$\text{die Nutzleistung } L_n = \frac{1.5 \cdot 2000 \cdot 50{,}0}{6480} \text{ W.-Pf.,}$$

$$L_n = \text{rd} \cdot 24 \text{ W.-Pf.}$$

$$\text{die Dampfleistung } L_d = 1{,}43 \cdot 24 = 34 \text{ W.-Pf.}$$

Die Grösse der erforderlichen Kesselheizfläche ergibt sich daraus zu 2,5 . 34 = 85 qm, der Kohlenbedarf in der Stunde zu 1,8 . 34 = rd . 61 k. Zur Förderung des mittleren Tagesbedarfes in 12 Stunden demnach 730 k.

Für 24stündigen Betrieb ist die Nutzleistung:

L_n = 12 W.-Pf. und
L_d = 1,43 . 12 = 17,0 W.-Pf.,
die Heizfläche 43 qm,
der Kohlenverbrauch stündlich 31 k,
" " täglich 730 k.

Für 12stündigen Betrieb wären nur zwei Maschinen erforderlich mit zusammen 48 Pf. Nutzleistung, 170 qm Heizfläche; für 24stündigen Betrieb jedoch 3 Maschinen mit zusammen 36 Pf. Nutzleistung und 129 qm Heizfläche. Die dreifache Maschinenanordnung mit 24stündigem Betriebe verursacht daher wesentlich

geringere Anschaffungskosten als die zweifache; sie beansprucht aber etwas mehr Raum, ist dagegen zweckmässiger zur Ausgleichung der Verbrauchsschwankungen zu verwenden.

Wäre der mittlere Tagesverbrauch nur 1000 qm, so würden die sich ergebenden Unterschiede zwischen zwei- oder dreifacher Maschinenanlage nur halb so gross, als oben berechnet ist;

die Nutzleistung wäre 24 bezw. 18,0 W.-Pf.
die Heizfläche „ 85 „ 65 qm,

so dass der Kostenunterschied hier nicht mehr so bedeutend ausfällt, um nicht durch den Vorteil, mit nur einfacher Besetzung des Betriebspersonals auszukommen, aufgewogen zu werden.

Der Kohlenverbrauch ist theoretisch für zweifache Anlage so gross, wie für dreifache; in Wirklichkeit ist aber bei nur 12stündigem Betriebe wegen der Abkühlung während der Unterbrechungszeit und des Wiederanheizens der Kohlenverbrauch verhältnismässig grösser als bei 24stündigem Betriebe; ferner ist man mit 3 Maschinen, von denen jede nur halb so stark ist, als die Einzelmaschinen der zweifachen Anlage, viel eher im stande, die der Höchstleistung der Maschinen entsprechenden Fördermengen einzuhalten, wodurch ebenfalls eine Kohlenersparnis erzielt werden kann.

Für einen täglichen Durchschnittsverbrauch von 20000 cbm würden bei 24stündigem Betriebe mindestens 3 Maschinen erforderlich sein von 0,75 T_m eine jede, oder

120 W.-Pf. Nutzleistung mit
je 430 qm Heizfläche.

Würde man 4 Maschinen aufstellen, so würde eine Stärke der Einzelmaschine von 0,5 T_m oder oder 80 Pf. mit 287 qm Heizfläche genügen. Die Gesamtanlage ergäbe danach:

für 3 fache Anlage	360 W.-Pf.	u.	1290 qm	Heizfläche
„ 4 „ „	320 „	„	1148 „	„

Je kleiner die Einzelmaschinen und je grösser ihre Anzahl für einen Betrieb ist, desto kleiner kann auch der Inhalt der Sammelbehälter bemessen werden.

3. **Die Gasmotoren, Petroleum-, Benzin- und Elektromotoren** besitzen den grossen Vorzug, dass ihre Ar-

beitskraft je nach Bedürfnis ohne besondere Vorbereitung sofort in Benutzung genommen und nach Belieben unterbrochen werden kann, ohne dass dabei Arbeitsverluste sich ergeben. Sie eignen sich daher sehr vorteilhaft für unregelmässige, häufig unterbrochene Wasserbedürfnisse oder kleine Anlagen mit Sammelbehälter, dessen Füllung in kurzer Zeit bewirkt werden kann und dann für längere Zeit dem Wasserbedürfnis genügt. Diese Motoren beanspruchen auch weniger Bedienung während des Betriebes, als Dampfmaschinen, deren Kraftspender, der Dampf, auch während des Betriebes erst erzeugt werden muss. Trotzdem gestaltet sich im allgemeinen der Dampfbetrieb vorteilhafter, als der oben erwähnte Betrieb durch jederzeit verfügbaren Kraftstoff, wenn nicht der Kohlenpreis örtlich sehr hoch, dagegen der Preis des Kraftstoffes sehr niedrig ist.

Die Gas-Kraftmaschinen werden in allen Grössen von $^1/_2$ Pf. bis 300 Pf. hergestellt, und als Gasverbrauch ist in der Stunde für je 1 Pf. anzunehmen:

von Ölgas ist der Bedarf um die Hälfte geringer	für kleine	Motoren	1,25 bis 1,10	cbm	Kohlengas
	„ mittlere	„	1,10 bis 1,0	„	„
	„ grosse	„	1,0 bis 0,80	„	„
				und noch weniger.	

Das günstigste Mischungsverhältnis der atmosphärischen Luft mit Leuchtgas zum Zwecke der Explosion ist $^1/_7$ bis $^1/_6$, d. h. 1 Raumteil Leuchtgas auf 6 Raumteile Luft. Die durch die Explosionen verursachte Erwärmung der Maschine muss durch fliessendes kaltes Wasser gemindert werden, man rechnet für die Stunde und Pferdestärke 35 bis 40 Liter Kühlwasser.

Bezüglich der Kraftübertragung auf die Pumpen gilt hier dasselbe, was bei den Dampfmaschinen schon erwähnt wurde. Der Arbeitsverlust durch diese Übertragung, welcher durch β bezeichnet wird, ist auch hier sehr verschieden. Da die Gasmotoren grosse Umdrehungszahlen haben, 150 bis 300 in der Minute, so ist eine unmittelbare Kraftübertragung nur bei sehr schnell laufenden Pumpen, wie Kreisel- oder Zentrifugalpumpen, möglich; bei den Kolbenpumpen ist immer ein Räder-

vorgelege oder Übersetzung durch Riemen- oder Seilscheiben erforderlich.

Eine zweckmässige Verwendung können Gasmotoren wegen ihres geringen Raum- und Unterhaltungsbedürfnisses überall da finden, wo es sich um zeitweisen Ersatz von Dampf- oder Wasserkraftmaschinen handelt, da sie auch jeden Augenblick in Betrieb gesetzt werden können.

4. Die Petroleum- und Benzinmotoren verhalten sich ähnlich wie die Gasmotoren, man rechnet für Stundenpferdestärke bei kleinen Motoren von 1 bis 5 Pf. etwa 0,75 bis 1,0 l, bei grossen Motoren 0,50 bis 0,75 l Brennstoff; der Kühlwasserverbrauch ist derselbe wie bei den Gasmotoren.

Ob die Anwendung von Elektromotoren in Einzelfällen vorteilhaft ist, hängt von den örtlichen Verhältnissen, vor allem von den Kosten des verfügbaren Stromes ab; besonders für Aushülfefälle dürfte auch der elektrische Strom für Wasserhebungen gute Dienste leisten.

5. Die Windmotoren sind zu Wasserhebungszwecken sehr häufig angewendet, jedoch nur für kleinere Anlagen; da sie vor allem Wind von gewisser Stärke und Stetigkeit verlangen, so ist ihre Verwendung hauptsächlich auf Örtlichkeiten mit solchen Windverhältnissen beschränkt. Für den Betrieb von Windmotoren soll die Windgeschwindigkeit wenigstens 4 bis 4,5 m betragen, und diese Wind-Verhältnisse sind in Deutschland nicht sehr verbreitet und vor allem nicht von grosser Dauer. Unterbrechungen des Motorenbetriebes sind daher oft und auch anhaltend zu erwarten, so dass ein Sammelbehälter mit grossem Inhalt vorhanden sein muss, um während der vielen Unterbrechungen das Wasserbedürfnis befriedigen zu können.

Die Windräder laufen in der Regel in einer Höhe von 8 bis 10 m über der Bodenfläche, getragen von einem Holz- oder Eisengerüste; sie sind mit Vorrichtungen behufs ihrer selbstthätigen Verstellung je nach Richtung und Stärke des Windes versehen. Der eigentliche Windfang des Rades ist dessen ringförmige Fläche, welche die innere ganz offene Kreisfläche von ein Drittel Durchmesser des Rades umschliesst. Dieser äussere Ring, der $^4/_5$ der

ganzen Radfläche einnimmt, ist mit schmalen Brettchen, die sich mit zwischenliegendem Spalten an den Kanten überdecken, besetzt.

Ist der Wind zu schwach oder zu stark, so versagen die Windräder den Dienst und werden dadurch sehr unzuverlässig.

Der Nutzeffekt der Windräder ist ausgedrückt in W.-Pf. durch

$$58)\ L_n = \frac{Q \cdot H \cdot \gamma}{75} = \alpha \cdot S^3 \cdot F,$$

worin F die Fläche des Windfanges am Rade in qm, S die Windgeschwindigkeit in m und α eine Erfahrungszahl bezeichnet.

Unterstellt man für α den Durchschnittswert $\alpha = 0{,}011$ und für $S = 4{,}5$ m, so erhält man, mit $F = 0{,}8\ D^2$, den Wert von $D = 10{,}0 \sqrt{L_n}$, wenn D der Durchmesser des Windrades ist.

Danach wird $58a)\ L_n = \frac{D^2}{100}$.

Für $D = 15{,}0$ m ist demnach $L_n = 2{,}25$ W.-Pf.

Hohe Betriebskräfte kann man also selbst bei sehr grossen Windrädern nicht erhalten, auch dann nicht, wenn die Windgeschwindigkeit etwas grösser als 4,5 m wird.

Die Stadt Greifswald fördert durch ein Windrad von 12,2 m Durchmesser bei einer durchschnittlichen Windgeschwindigkeit von 4,3 m stündlich 162 cbm Wasser auf 6,0 m Höhe. An dem Gestänge, das die drehende Bewegung des Windrades auf die Pumpen überträgt, sind 4 doppelwirkende Saug- und Druckpumpen gekuppelt von 250 mm Cylinderdurchmesser und 500 mm Hubhöhe.

Die Wasser-Hebemaschinen.

1. Die Kolbenpumpen mit hin und her gehender Bewegung.

Saugt die Pumpe nur das Wasser an, welches durch Rückschlagventil an seinem Rückgange verhindert wird, so dass sich das angesaugte Wasser im Pumpencylinder sammelt, bis es überläuft, so bezeichnet man sie als Saugpumpe. Hat die Pumpe einen durchbrochenen Kolben mit Rückschlagklappe oder Ventil, welches beim Niedergange des Kolbens das angesaugte Wasser

durchlässt, beim Aufgange des Kolbens aber sich schliesst, so dass dies Wasser mit dem Kolben gehoben wird, so bezeichnet man dies als eine Saug- und Hebepumpe. Ist der Kolben massiv, nicht durchbrochen, und mündet sowohl das Saugrohr als auch das Abflussrohr unterhalb des Kolbens in den Cylinder, beide Mündungen mit Klappen oder Ventilen versehen, so dass sich das eine davon schliesst, wenn sich das andere öffnet, dann wird bei dem Kolbenaufgange das Wasser angesaugt, bei dem Niedergange aber durch das Abflussrohr wieder aus dem Cylinder hinausgedrückt; diese Einrichtung bezeichnet man als einfach wirkende Saug- und Druckpumpe. Befindet sich nicht nur unterhalb des Kolbens, sondern auch oberhalb desselben je eine Abfluss- und eine Saugmündung mit den entgegengesetzt sich hebenden Ventilen, so findet bei dem Auf- und Niedergange des Kolbens sowohl ein Ansaugen als auch ein Fortdrücken des Wassers statt, und man hat eine doppelt wirkende Saug- und Druckpumpe vor sich.

Die einfach wirkenden Pumpen fördern das Wasser stossweise in die Höhe, während bei den doppelt wirkenden Pumpen diese Stösse nicht so bemerkbar sind, der ausgeworfene Wasserstrahl ist bei diesen ein ununterbrochener, wenn auch kein ganz gleichmässiger. Die massiven Kolben unterscheidet man wieder in

1. Scheibenkolben, deren Durchmesser grösser als ihre Höhe und deren Mantelfläche wasserdicht an der Innenwand des Cylinders mittels Kolbenstange hin und her gleitet.

2. Taucherkolben (sogen. Plunger), deren Höhe beträchtlich grösser als ihr Durchmesser ist, und die sich im Cylinder mit Abstand von dessen Innenwand konzentrisch hin und her bewegen.

Die Scheibenkolben sind wegen ihres engen Anschlusses an die Cylinderwand sehr empfindlich gegen unreine Wasser, während die Taucherkolben von den im Wasser vorkommenden Fremdkörpern nicht nachteilig berührt werden.

Fig. 103 ist eine Saugpumpe, deren Kolben aus einem beweglichen Lederstulp besteht, dessen aufwärts gerichteter Umfang geschlitzt ist, mit übereinander gelegten Rändern an den einzelnen

auf den Umfang verteilten Schlitzen; am Fusse des Cylinders befindet sich ein Saugventil *SV*. Beim Niedergange des Kolbens wird der obere, an den Schlitzen durch Übereinanderschieben der Ränder bewegliche Teil des Lederstulpes durch den Druck des

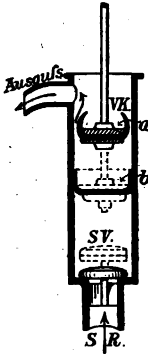


Fig. 103.

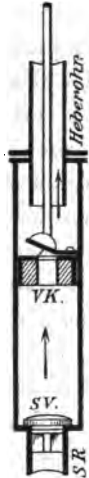


Fig. 104.

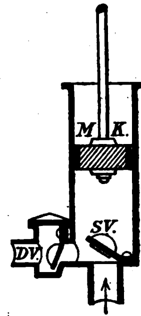


Fig. 105.

Wassers zusammengezogen, wie bei *a* in Fig. 103, so dass zwischen dem Kolben und Cylinder genügender Durchgangsraum für das vom niedergehenden Kolben verdrängte Wasser entsteht. Beim Aufgange des Kolbens öffnet sich das Saugventil, während nun der bewegliche Lederstulp durch die auf ihm lastende Wassersäule auseinandergetrieben, gegen die Cylinderwand gepresst wird und dadurch hier den Kolben abdichtet, so dass die über dem Kolben stehende Wassersäule nicht nach unten entweichen kann, sondern mit den Kolben sich aufwärts bewegt und durch den Ausguss abfliesst. Diese Art Ventilkolben eignen sich wegen ihrer einfachen Herstellungs- und Unterhaltungsweise für die Saugpumpen, weil hier nur ein äusserst geringer Wasserdruck auf ihnen lastet, so dass kleine Mängel der Abdichtung des Kolbens durch den beweglichen Lederstulp noch keine grosse Beeinträchtigung der Pumpenleistung herbeiführen.

Soll die Saugpumpe das Wasser auch auf grössere Höhe heben, wobei der Ventilkolben ausser durch die Saughöhe auch noch durch die Erhebungshöhe belastet wird, so wendet man massive, in der Mitte durchbrochene, mit einer Klappe oder einem Ventile ausgerüstete Klappen an, wie Fig. 104 (S. 345) eine solche Saug- und Hebepumpe zeigt.

Die Saug- und Hebepumpen haben den Nachteil, dass die Arbeit hauptsächlich nur bei dem Kolbenaufgange beansprucht wird, während der Niedergang verhältnismässig wenig Arbeit erfordert. Diese Pumpen sind daher nur für Handbetrieb verwendbar, wobei der Kraftaufwand des Pumpenden durch dessen Willen nach Bedürfnis geregelt werden kann. Bei Maschinenbetrieb ist die Kraftübertragung auf die Pumpe eine ziemlich gleichmässige, weshalb die volle Ausnutzung der Maschinenarbeit auch nur durch Arbeitsmaschine geschehen kann, deren Kraftbedürfnis ebenfalls ein gleichmässiges ist. Saug- und Hebepumpen kommen daher für Wasserversorgungen mit Maschinenbetrieb nicht zur Verwendung, sondern nur Saug- und Druckpumpen, bei welchen die Arbeit des Ansaugens und des Drückens nicht mit einer Bewegungsrichtung des Kolbens zusammenfällt. Die einfach wirkende Saug- und Druckpumpe (Fig. 105, S. 345) saugt bei dem Kolbenaufgange Wasser an und drückt dasselbe bei dem Niedergange des Kolbens wieder fort. Je nachdem nun die Saug- und Druckhöhe von einander sehr verschieden sind, ist auch hier das Kraftbedürfnis für die beiden Bewegungsrichtungen des Kolbens ein verschiedenes, so dass beim Betriebe von nur einer solchen Pumpe die Maschinenkraft nicht zweckmässig ausgenützt wird. Man kuppelt daher zur Ausgleichung des Kraftbedürfnisses an eine Betriebswelle der Arbeitsmaschine 2, 3 und 4 einfach wirkende Saug- und Druckpumpen in der Weise, dass die Kurbeln z. B. bei 4 Pumpen um 90° gegen einander verstellt sind; dadurch fällt nicht nur die Saugwirkung von je 2 Pumpen mit dem Drücken von je zweien, sondern auch die Erreichung des toten Punktes durch je 2 Pumpen trifft zusammen mit der Mittelstellung des Kolbenhubes (grösste Geschwindigkeit) der beiden anderen Pumpen. Die einfach wirkende Saug- und Druckpumpe mit

Scheibenkolben (Fig. 105) hat vor derjenigen mit Taucherkolben (Fig. 107) den Vorzug, dass sie zur Führung der Kolbenstange keiner Stopfbüchsenführung bedarf, was bei der letztgenannten nötig ist; dagegen ist der Taucherkolben viel weniger empfindlich gegen die Verunreinigungen im Wasser. Bei der doppelt wirkenden Saug- und Druckpumpe ist das Arbeitsbedürfnis für jede Bewegungsrichtung des Kolbens gleich gross, indem hier immer Saugen und Drücken gleichzeitig stattfindet. Zwischen der doppeltwirkenden Saug- und Druckpumpe mit Scheibenkolben (Fig. 106) und derjenigen mit Taucherkolben (Fig. 108) gelten dieselben Vor- und Nachteile, die oben für die einfach wirkenden Pumpen erwähnt wurden. Bemerkenswert ist, dass bei der doppeltwirkenden Taucherpumpe (Fig. 108) die Stopfbüchse des Kolbens innerhalb des Pumpencylinders liegt, was insofern nicht günstig ist, als dadurch die Behandlung derselben erschwert ist. Bei einfach wirkenden Saug- und Druckpumpen kann auch eine Ausgleichung des Arbeitsbedürfnisses dadurch erreicht werden, dass die Pumpen tief unter der Bodenoberfläche aufzustellen und mit langen Antrieb-Gestängen versehen sein müssen, indem man die Pumpe so ein-

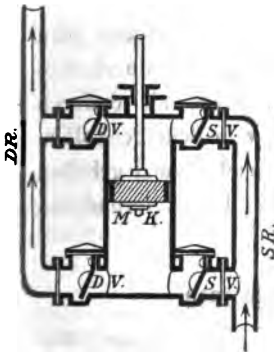


Fig. 106.

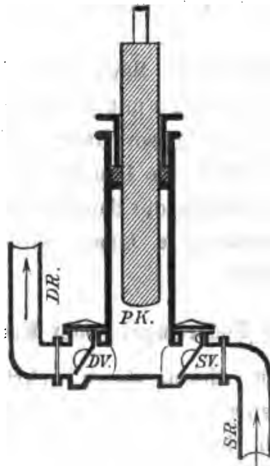


Fig. 107.

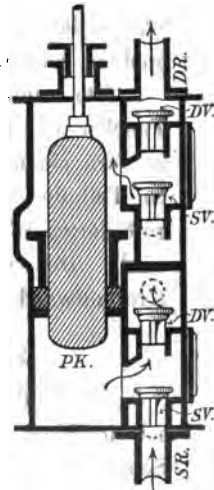


Fig. 108.

richtet, dass das Saugen bei dem Aufgange, das Drücken beim Niedergange des Kolbens vor sich geht. Durch die Regelung des Gestänggewichtes kann man erzielen, dass die Arbeit für das Saugen und gleichzeitig Heben des Gestänges annähernd gleich ist der Arbeit für das Drücken, weniger der Entlastung durch die Schwere des Gestänges. Wo man gezwungen ist, ein grosses Gestänge anzuwenden, können daher die einfach wirkenden Pumpen zweckmässiger sein, als die doppeltwirkenden. Zweckmässig ist ferner bei diesen Gestängepumpen, die Bewegung der letztgenannten durch einen Hebelarm auf die Kolbenstange der Pumpen zu übertragen. Greift das Gestänge am langen Hebelarme an, während die Kolbenstange am kurzen Arme hängt, dann ist die Kolbenbewegung eine ruhige, regelmässige, sowie auch das Gestänge dabei weniger angegriffen wird. Will man dagegen dem Pumpenkolben einen grösseren Hub geben, als derjenige des Gestänges ist, so darf man nur dieses mit dem kurzen Hebelarme in Verbindung setzen.

Für einfach wirkende Saug- und Druckprmpen kann man Taucher- und Scheibenkolben mit einander verbinden, wodurch man insofern einen gleichmässigeren Gang erzielen kann, als dadurch ein Teil des schon durch die Druckbewegung vom Scheibenkolben geförderten Wassers durch die Saugbewegung noch einmal gehoben wird. Der gleichmässigere Gang wird also durch vermehrten Kraftaufwand erkauft.

2. Die Zentrifugal- oder Kreiselpumpen.

Diese Pumpen wirken durch gekrümmte, mit grosser Geschwindigkeit in einem Gehäuse um eine Welle sich drehende Schaufeln, wodurch einerseits das Wasser angesaugt und andrerseits fortgetrieben wird. Die Bewegung ist eine ununterbrochen stetige, hat daher keine toten Punkte, wie die Kolbenpumpen, und daher wäre die Kreiselpumpe der Kolbenpumpe vorzuziehen, wenn man damit auf grössere Höhe fördern könnte. Dies ist jedoch nicht der Fall, denn für die Bewegung des Schaufelrades ist es unerlässlich, dass zwischen diesem und dem Gehäuse ein gewisser, wenn auch noch so kleiner Spielraum vorhanden ist. Durch diesen

Spielraum fliesst das Wasser aus der Druckrichtung rückwärts nach der Saugrichtung, und diese Wasserverluste werden natürlich um so grösser, je höher das Wasser zu drücken ist. Günstige Leistungen kann man daher mit diesen Pumpen nur bei Förderhöhen (Saug- und Druckhöhe) bis 20,0 m erreichen; darüber hinaus schwindet die Nutzleistung immer mehr, bis sie schliesslich kein Wasser mehr fortschleudert. Die Saughöhe nimmt man gewöhnlich nicht grösser als 4 bis 6 m an, die Saugröhren müssen vor dem Saugkorbe immer eine Rückschlagklappe oder ein Ventil erhalten, da sich die leeren Saugröhren schwer ansaugen lassen und deshalb vor dem Anlassen immer erst von oben mit Wasser gefüllt werden müssen.

Die Wassergeschwindigkeit soll in den Saugröhren 1,0 m, in den Druckröhren 1,0 bis 2,0 m nicht übersteigen; in den Druckröhren lässt man mit Zunahme der Druckhöhe die Geschwindigkeit abnehmen.

Folgende Tabelle X enthält die Leistungen von Kreiselpumpen verschiedener Grösse.

Weite des Saug- und Druckrohrs in Millimetern	60	90	120	150	180	210	250	300
Wassermenge in Litern in der Sekunde	4,5	11,0	20,0	30,0	48,0	66,0	100,0	160,0
Umdrehungszahl in der Minute								
Für eine Förderhöhe H = 6,0 m	1000	900	800	600	500	475	445	430
„ „ „ H = 9,0 m	1200	1100	1000	750	600	575	535	510
„ „ „ H = 12,0 m	1370	1250	1100	850	680	650	610	580
Kraftaufwand in Pf.-St. für 1,0 m Förderhöhe	0,15	0,35	0,53	0,84	1,20	1,60	2,40	3,40
Nutzeffekt in Prozenten des obigen Kraftaufwandes	40	40	50	50	53	55	55	60

Die Leistungen der Kreiselpumpen sind demnach nicht so günstig, als diejenigen der Kolbenpumpen, und ihre Förderhöhe ist eine beschränkte; dagegen haben sie den Vorzug, dass ihre Leistung durch Förderung unreinen Wassers nicht so leicht beeinträchtigt wird, wie dies vor allem bei den Pumpen mit Scheibenkolben, besonders in wagrechter Lage, der Fall ist. Die Kreiselpumpen finden daher bei Wasserversorgungen besonders da Ver-

wendung, wo z. B. die unfiltrierten Fluss- oder Seewasser auf die nächst dem Ufer gelegenen Filter zu pumpen sind. Als Fussventile verwendet man wegen etwaiger Verunreinigung des Wassers nur Lederklappen, deren Drehaxe sich in ihren Lagern senkrecht bewegen kann; für grössere Förderhöhen als 10,0 m setzt man auch in das Steigrohr an dessen unterem Ende eine Rückschlagsklappe ein.

3. Die rotierenden oder Würgelpumpen.

Sie sind eigentlich ebenfalls Kolbenpumpen, nur dass sich hier ein besonders gestalteter Metallkolben durch die Drehbewegung der Welle immer in einer und derselben Richtung bewegt, wobei er einerseits Wasser ansaugt, andrerseits aus dem Gehäuse das Wasser fortdrückt. Die Wirksamkeit der Würgelpumpen ist bedingt durch den dichten Schluss der Kolbenfläche an diejenigen nach innen vortretenden Flächenteile der Gehäuswand, welche die Saug- und Druckkammern bilden. Diese aufeinandergeschliffenen Metallflächen gestatten nur eine Verwendung für ganz reine Flüssigkeiten und nicht sehr grosse Förderhöhen, etwa 25 bis 30 m; ihre Nutzleistung beträgt etwa 60 % des Kraftaufwandes.

4. Kolbenpumpen ohne Ventile

ergeben eine hohe Nutzleistung bei Förderung ganz reinen Wassers und solange die Abnützung ihrer metallenen Gleitflächen noch eine geringe ist. Für Wasserversorgungszwecke sind sie daher denselben Beschränkungen unterworfen, wie die Würgelpumpen. Es gehört hierher der Schmidsche Wassermotor, der von seinem Betriebswasser nicht zugleich auch fördern kann, wie der Kröbersche Motor; wenn der Schmidtsche Motor als Pumpe verwendet wird, so muss noch ein Motor zum Antrieb dieser Pumpe vorhanden sein, was bei vorhandener Druckwasserkraft ebenfalls wieder ein Schmidscher Motor sein kann. Die Kröberschen Motoren setzen ebenfalls Betriebswasser mit hohem Gefälle voraus, sowie auch von grosser Reinheit.

5. Der hydraulische Widder.

Dies ist eine Wasserkraftmaschine, welche stossweise wirkt, indem der Abfluss des Betriebswassers in dem Fallrohre R_f durch das Sperrventil V_s in regelmässigen Zeitabschnitten unterbrochen wird, sobald das Wasser im genannten Rohre die dem Gefälle h entsprechende grösste Geschwindigkeit erreicht hat. Durch den Schluss des Sperrventils und die plötzliche Unterbrechung des Wasserlaufes im Fallrohre erfolgt ein Rückstoss auf das Druckventil V_d, welches unter dem Drucke des Windkessels W_k steht; das Druckventil V_d öffnet sich und lässt das Wasser aus dem Fallrohre in den Windkessel eintreten, solange ein Überdruck im Fallrohre vorhanden ist; sobald die Spannung im Fallrohre nachlässt, schliesst sich das Druckventil V_d wieder, dagegen öffnet sich das Sperrventil V_s durch sein Eigengewicht, das Wasser im Fallrohre R_f gelangt wieder zum Abfluss, bis es seine grösste Fallgeschwindigkeit erreicht, das Sperrventil schliesst und durch den Rückstoss das Druckventil wieder öffnet. Das in den Windkessel gedrückte Wasser gelangt durch das Steigrohr R_s, welches an den Windkessel angeschlossen ist, in einen höher gelegenen Sammelbehälter, von wo es seiner Verwendung zugeführt wird. Der Widder arbeitet demnach stossweise und die Zahl der Widderstösse in der Minute kann je nach der Grösse der lebendigen Kraft, welche die im Fallrohre sich bewegende Wassersäule erreicht, 30 bis 100 betragen; die Stosszahl nimmt zu, wenn die lebendige Kraft des Betriebswassers abnimmt, während die Stärke der Stösse mit dieser Kraft zunimmt. Mit Rücksicht auf die Stärke der Widderstösse

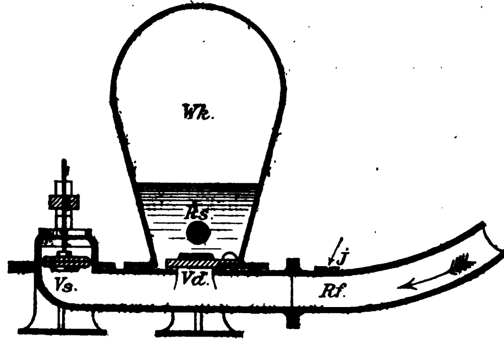


Fig. 109.

muss besonders das Sperrventil V_s genügend kräftig und doch leicht beweglich aus geschmeidigem Rotmetall gefertigt sein; das Druckventil empfindet diese Stösse nicht so stark, indem die Pressluft des Windkessels den Stoss aufnimmt, und daher kann für das Druckventil eine Lederklappe angewendet werden, welche gegen etwaige Verunreinigungen des Wassers nicht so empfindlich ist, als ein Metallventil. Auch in das Steigventil noch ein Rückschlagsventil einzusetzen, ist nicht empfehlenswert, weil dadurch die Widerstände ohne besondern Nutzen erhöht werden. Vor dem Windkessel befindet sich in der Oberkante des Fallrohres eine feine Öffnung *J*, etwa 1,0 bis 1,5 mm im Durchmesser, die in der Richtung des Wasserfalles schräg eingebohrt ist. Durch diese Öffnung wird beim Abflusse des Wassers im Fallrohre Luft eingesaugt, welche sich mit dem Wasser mischt und so auch in den Windkessel gelangt, wo sie zur Vermehrung des Luftinhaltes, beziehungsweise zur Erhaltung desselben dient. Es ist dieser Luftersatz sehr nötig, denn durch das stossweise Eindringen des Wassers in den Windkessel wird auch Luft in das Steigrohr mit fortgerissen und der Luftraum verkleinert, wodurch in demselben Masse die Stösse auch in das Steigrohr sich fortsetzen und die Nutzleistung des Widders verringern.

Wo genügend Wasserkraft vorhanden ist, würde der Widder eine sehr nützliche Wasserhebungsmaschine sein, wenn nicht die Nutzleistung unter mässigen Ansprüchen bleiben würde, und zwar um so mehr, je grösser die Druckhöhe im Verhältnis zum Betriebsgefälle ist. Bezeichnet man mit

Q die Betriebswassermenge in der Sekunde in cbm,
h das Betriebsgefälle in m,
q die gehobene Wassermenge in der Sekunde in cbm,
H die Förderhöhe in m,

so ist theoretisch, ohne Berücksichtigung der Widerstände und Wasserverluste, die Wassermenge $q = \frac{Q \cdot h}{H}$.

Von dieser theoretischen Wassermenge liefern die Widder oft nur 25 bis 30 %, was nur durch die unvollkommene Konstruktion der einzelnen Teile verursacht ist. Zunächst ist die richtige Be-

stimmung der Länge des Fallrohres im Verhältnis zu dessen Durchmesser von grosser Bedeutung, besonders mit Rücksicht auf das verfügbare Betriebsgefälle. Je grösser die Länge des Fallrohres und je kleiner der Durchmesser desselben dabei ist, desto grösser ist der Druckverlust bei dem Abflusse des Wassers; ferner, je kleiner das Betriebsgefälle, desto fühlbarer ist dieser Gefällverlust. Gewöhnlich wird aber von den Lieferanten der Widdereinrichtungen die Lichtweite des Fallrohres lediglich nach der Betriebswassermenge Q, bestimmt ohne Berücksichtigung der erreichbaren Fallgeschwindigkeit; für die Länge des Fallrohres begnügt man sich damit, die Grenzwerte 5 bis 15 m festzusetzen, so dass die richtige Wahl dieser Länge ein Spiel des Zufalles ist. Daher kommt es dann, dass häufig von dem vorhandenen Betriebsgefälle schon in der Fallrohrleitung verhältnismässig grosse Verluste sich ergeben, wozu noch weiter zu rechnen ist, dass die Verbindung des Fallrohres mit dem Behälter des Speisewassers gewöhnlich derart ist, dass eine volle Ausnützung der Rückstosskraft der Wassersäule im Fallrohre ausgeschlossen erscheint.

Die Sperrventile werden schablonenhaft für die verschiedenen Lichtweiten der Fallröhren hergestellt, ohne Rücksicht auf die lebendige Kraft, unter deren Einwirkung sie arbeiten müssen; ferner ist gewöhnlich sehr wenig Rücksicht genommen auf die im Laufe eines Jahres sich ergebenden Schwankungen der Betriebswassermengen, sei es durch spezielle Konstruktion des Widders, sei es durch Aufstellung mehrerer Widder.

Man darf sich daher nicht wundern, dass diese einfachste Wasserhebungsmaschine, welche monatelang ununterbrochen in Betrieb sein kann, ohne der geringsten Bedienung oder Nachhülfe zu bedürfen, noch wenig Verwendung gefunden hat, und auch ferner finden wird. Abgesehen von einigen kleinen Verbesserungen, wie Verbindung der Lufteinsaugeöffnung mit dem Windkessel und Anbringung von Entlastungen durch Gewichte oder Federn an den Ventilen, ist der Widder heute noch derselbe, wie er von Montgolfier i. J. 1796 zuerst eingeführt wurde.

Zur Zeit wird der Widder hauptsächlich bei reichlich vorhandenem Betriebswasser für kleinere Fördermengen bis 5,0 Sekunden-

liter verwendet. Wenn das Steigventil *s* mit einem Pumpenkolben in Verbindung gebracht wird, so können die Widderstösse zum Betriebe dieser Pumpe dienen; das Förderwasser kann in diesem Falle ein anderes als das Betriebswasser sein.

6. Strahlpumpen.

Die Wirkung der Strahlpumpen beruht darauf, dass durch eine Düse *A* (Fig. 110) ein Flüssigkeitsstrahl unter hohem Druck in eine kelchförmig erweiterte Röhre *B* austritt, wodurch in dem unter der Düsenmündung befindlichen Raume ein Ansaugen stattfindet; stehen diese Röhren *A* und *B* im Wasser, so wird dieses Wasser angesaugt und durch den an der Düsenmündung ausströmenden Flüssigkeitsstrahl in dem Kelchrohre *B*, das als Steigrohr dient, in die Höhe geschleudert.

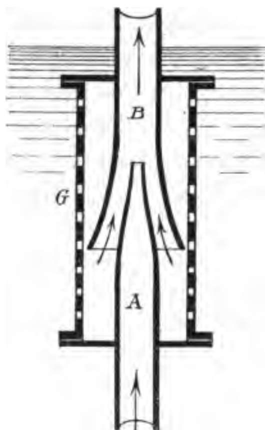


Fig. 110.

Zum Schutze gegen Verunreinigungen umgibt man die Saugvorrichtung mit einem als Seiher dienenden durchlochten Gehäuse *G*.

Die Betriebsflüssigkeit, deren Düsenstrahl die Wasseranhebung bewirkt, kann sowohl Wasser oder Luft, als auch Dampf sein; beim Dampfstrahl wird die Saugwirkung noch dadurch verstärkt, dass durch Kondensation der ausströmenden Dämpfe ein Vakuum erzeugt wird. Die Dampfstrahlpumpe hat aber eben deshalb auch den Nachteil, dass das Förderwasser erwärmt wird.

Die Nutzleistung der Strahlpumpe ist keine hohe, sie schwankt zwischen 10 bis 30 % der theoretischen; die Anwendung von Strahlpumpen zu Wasserleitungszwecken ist daher eine sehr beschränkte, gewöhnlich nur nebensächliche.

Dasselbe gilt auch von den Dampfpumpen und Pulsometern, die ebenfalls nur geringe Nutzleistung bei hohem Dampfverbrauche haben und ebenfalls das Förderwasser erwärmen; es

kann daher ein näheres Eingehen auf diese Pumparten hier entbehrt werden.

Die Pumpensaugröhren.

Die Saughöhe, d. h. der senkrechte Abstand zwischen dem Saugwasserspiegel und der Unterkante der Druckventile, ist durch den Atmosphärendruck beschränkt und soll 7 bis 8 m nicht übersteigen, einschliesslich der in der Saugleitung sich ergebenden Widerstände.

Bezeichnet:

A die Höhe einer Wassersäule, welche dem Atmosphärendruck das Gleichgewicht hält;

F die Querschnittsfläche des Pumpenkolbens;

h den Kolbenhub;

H die grösste Höhe, auf welche das Wasser bei dem höchsten Kolbenstande angesaugt werden, d. h. in der Saugleitung für jeden Hub steigen kann,

n . F das Luftvolumen, das bei dem niedrigsten Kolbenstande zwischen diesem und dem Saugwasserspiegel in der Saugleitung enthalten sein kann,

so erhält man für die Verdünnung der Luft durch den Aufgang des Kolbens folgende Gleichung:

$$\frac{(n \cdot F + h \cdot F)}{h \cdot F} = \frac{A}{H}, \text{ woraus}$$

$$60) \quad H = A \cdot \frac{h}{n + h}.$$

Aus obiger Gleichung ergeben sich nachstehende Folgerungen: je grösser n wird, d. h. je höher die Pumpe über dem Saugwasserspiegel steht, desto kleiner wird H; ist $n = h$, so wird $H = \frac{1}{2} A$ und allgemein, wenn $n = m \cdot h$ ist, so ist

$$60a) \quad H = \frac{A}{1 + m}.$$

Den Höchstwert erreicht H, wenn $m = o$ wird.

Die Grösse von n ist bestimmt durch die Länge L und die Lichtweite d der Saugleitung, sowie durch den Durchmesser D des Kolbens, nämlich: $n \cdot F = n \cdot \pi/4 \cdot D^2 = \pi/4\, d^2 \cdot L$

$$\text{woraus } n = L \cdot \frac{\pi/4\, d^2}{\pi/4\, D^2}, \text{ und}$$

$$\text{da } n = m \cdot h, \text{ so ist } m = \frac{L \cdot \pi/4\, d^2}{h \cdot \pi/4\, D^2} = \frac{J}{J_1},$$

d. h. m ist gleich dem Quotienten aus dem Inhalte J des Saugrohres und dem Inhalte J_1 des Kolbenhubes. Je grösser J im Verhältnis zu J_1, desto grösser m und desto kleiner H. Daraus ergibt sich, dass das Ansaugen um so mehr Zeit in Anspruch nimmt, das Saugrohr mit Wasser zu füllen, je länger und weiter das Saugrohr ist.

Ist das Saugrohr bis unter den Kolben der Pumpe mit Wasser gefüllt und bezeichnet H_s die senkrechte Höhe der Wassersäule im Saugrohre, so wird beim Beginne des Kolbenaufganges das Wasser dem Kolben folgen, und zwar unter einer Pressung P, die, abgesehen von den verschiedenen Widerständen, gleich ist dem Gewichte einer Wassersäule von der Höhe $A - H_s$. Je höher der Kolben steigt, desto grösser wird H_s, bis am Ende des Kolbenhubes, der gleich h ist, die Pressung P ausgedrückt wird durch eine Wassersäule von der Höhe $A - (H_s + h)$; die Bewegung des Wassers im Saugrohre geschieht daher unter der Einwirkung einer gleichmässig abnehmenden Kraft.

Die Kolbengeschwindigkeit während eines Hubes ist eine gleichmässig ab- und zunehmende, und muss daher auch das Wasser im Saugrohre diesen Wechsel der Geschwindigkeit durchmachen, wodurch unter Umständen Störungen im Wasserlaufe entstehen können. Wird z. B. die Kolbengeschwindigkeit für einen Augenblick grösser als diejenige, welche das Wasser im Saugrohre unter dem Luftdrucke annehmen kann, so vermag das Wasser in diesem Augenblicke dem Kolben nicht mehr zu folgen, die Wassersäule wird sich vom Kolben trennen, um in dem nächsten Augenblicke, infolge des durch die Trennung entstehenden Vakuums wieder eine grössere Geschwindigkeit anzunehmen und sich unter einem heftigen Schlage, dem sogenannten Wasserschlage, wieder dem Kolben anzuschliessen.

Ist P die Pressung, welche dem Wasser die aufsteigende Bewegung im Saugrohre erteilt, G das Gewicht der im Saugrohre

und Pumpencylinder unter dem Kolben zu bewegenden Wassermasse, S die Geschwindigkeit, welche das Wasser nach Verlauf der Zeit T erreicht, W der Weg, den das Wasser während der Zeit T im Saugrohre, und W_1 derjenige, den es im Cylinder in der gleichen Zeit zurücklegt, sowie F der Saugrohr- und F_1 der Kolbenquerschnitt, so bestehen zwischen diesen verschiedenen Grössen folgende Beziehungen:

$$S = g \cdot \frac{P}{G} \cdot T; \quad W = {}^1/_2 \cdot S \cdot T; \quad P = \frac{G \cdot S}{g \cdot T}$$

$$P \cdot W = {}^1/_2\, S^2 \cdot \frac{G}{g} \text{ und}$$

$$S = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot P \cdot W}{G}}.$$

Die Kraft P ist, wie oben schon erwähnt, eine veränderliche, sowie auch das Gewicht G des bewegten Wasserkörpers; die Pressung P wird während des Kolbenaufganges immer kleiner, nämlich $P = A - (H_s + h)$, während G immer grösser wird um $h \cdot F_1$. Der mittlere Wert von P ist demnach:

$$P_m = \frac{(A-H_s) + [A-(H_s + h)] \cdot F \cdot \gamma}{2}$$

$$= [(A-H_s) - {}^1/_2 \cdot h] \cdot F \cdot \gamma \text{ kg}$$

auf den Querschnitt des Saugrohres. γ ist das Gewicht der Masseinheit Wassers, für 1 cbm = 1000 kg; g ist die Beschleunigung durch die Schwerkraft = 9,81 m.

Der mittlere Wert von G ist

$$G_m = (L \cdot F + {}^1/_2 \cdot h \cdot F_1)\,\gamma.$$

Für diese beiden Mittelwerte wird

$$61\text{a)} \quad S = \sqrt{2\,g \cdot W \cdot \frac{[(A-H_s) - {}^1/_2\, h] \cdot F \cdot \gamma}{(L \cdot F + {}^1/_2\, h \cdot F_1)\,\gamma}} \text{ m}.$$

Der Weg W, den das Wasser im Saugrohre bei dem Kolbenhube h_1 zurücklegen muss, ist

$$W = h_1 \cdot \frac{F_1}{F} \text{ und daher}$$

$$61\text{b)} \quad S = \sqrt{2\,g \cdot h_1 \cdot \frac{[(A-H_s) - {}^1/_2\, h] \cdot F_1}{(L \cdot F + {}^1/_2\, h \cdot F_1)}} \text{ m}.$$

und wenn man $h_1 = \frac{h}{m}$ setzt, so ist

$$61\text{c})\ S = \sqrt{2g \cdot \frac{h}{m} \cdot \frac{[(A - H_s) - \frac{1}{2} h] \cdot F_1}{(L \cdot F + \frac{1}{2} h \cdot F_1)}}.$$

Die Wassergeschwindigkeit S verhält sich zu der im Pumpencylinder S_1 umgekehrt wie die betreffenden Querschnitte, daher

$$62)\ S_1 = \frac{S \cdot F}{F_1} = \sqrt{2g \cdot \frac{h}{m} \cdot \frac{F^2}{F_1} \cdot \frac{[A - H_s - \frac{1}{2} h)}{(L \cdot F + \frac{1}{2} h \cdot F_1)}}.$$

Bezeichnet ferner n die Kolbenspielzahl in der Minute, so hat man auch

$$62\text{a})\ S_1 = 2 \cdot \frac{n \cdot h}{60} = \frac{n \cdot h}{30}.$$

Da nun die mittlere Kolbengeschwindigkeit S_1 der im Saugrohre erreichbaren Geschwindigkeit S gleich sein muss, so hat man:

$$\frac{n \cdot h}{30} = \sqrt{2g \cdot \frac{h}{m} \cdot \frac{F^2}{F_1} \cdot \frac{(A - H_s - \frac{1}{2} h)}{(L \cdot F + \frac{1}{2} h \cdot F_1)}},\ \text{woraus}$$

$$63)\ n = 30 \cdot \sqrt{\frac{2g}{m \cdot h} \cdot \frac{F^2}{F_1} \cdot \frac{(A - H_s - \frac{1}{2} h)}{(L \cdot F + \frac{1}{2} h \cdot F_1)}}.$$

$h \cdot F_1$ ist gleich der Hubwassermenge Q_h, und $L \cdot F$ ist gleich dem Wasserinhalte des Saugrohres bis zum tiefsten Kolbenstande und sei mit Q_s bezeichnet; setzt man ferner $m = 1$ oder $h_1 = h$, so erhält man:

$$63\text{a})\ n = 30 \cdot \sqrt{2g \cdot F^2 \cdot \frac{(A - H_s - \frac{1}{2} h)}{Q_h \cdot (\frac{1}{2} Q_h + Q_s)}}.$$

Aus dieser letzten Gleichung ist ersichtlich, dass die zulässige Zahl der Kolbenspiele um so kleiner ausfällt, je grösser die Hubwassermenge wird, insbesondere je grösser der Kolbenhub wird; und noch weiter um so kleiner ausfällt, je grösser die Saughöhe H_s und die im Saugrohre enthaltene Wassermenge Q_s ist; dagegen kann die Kolbenspielzahl vermehrt werden, wenn die Saugrohrweite zunimmt. Ebenso kann die Spielzahl erhöht werden, wenn man den Kolbendurchmesser vergrössert, indem dadurch der Kolbenhub sich verringert, sowie auch gleichzeitig durch Vermehrung der Spielzahl die Hubwassermenge sich verringert für ein und

dieselbe Sekundenfördermenge. $\sqrt{2\,g}$ ist = 4,4294 und A ist gleich dem Atmosphärendruck = 10,333 m Wassersäule.

Diese Zahlenwerte in obige Gleichung eingesetzt, erhält man:

$$63b)\quad \text{für } n = 132{,}88\,.\,F\,.\sqrt{\frac{10{,}333 - H_s - {}^1/_2\,h}{Q_h\,({}^1/_2\,Q_h + Q_s)}}$$

und wenn D die Lichtweite des Saugrohres ist, dann ist

$$63c)\quad n = 104{,}36\,.\,D^2\sqrt{\frac{10{,}333 - H_s - {}^1/_2\,h}{Q_h\,({}^1/_2\,Q_h + Q_s)}}.$$

Gewöhnlich ist die in der Minute zu fördernde Wassermenge Q_m bekannt, und daraus erhält man die Hubwassermenge

1. für einfach wirkende Pumpen:

$$64)\quad Q_h = \frac{Q_m}{n} \text{ und}$$

2. für doppelt wirkende Pumpen:

$$64a)\quad Q_h = \frac{Q_m}{2\,n},$$

womit sich weiter ergibt:

$$n^2 = (104{,}36)^2\,D^4\,.\,\frac{10{,}333 - H_s - {}^1/_2\,h}{\frac{Q_m}{n}\,.\left(\frac{Q_m}{2\,n} + Q_s\right)} \quad \text{für einfach wirkende Pumpen}$$

$$n = 10\,891\,.\,D^4\,.\,\frac{10{,}333 - H_s - {}^1/_2\,h}{\frac{1}{n}\,.\left(\frac{Q_m{}^2}{2} + n\,.\,Q_m\,.\,Q_s\right)}$$

$$\frac{Q_m{}^2}{2} + n\,.\,Q_m\,.\,Q_s = 10\,891\,.\,D^4\,.\,(10{,}333 - H_s - {}^1/_2\,h)$$

$$n = \frac{10\,891\,.\,D^4\,.\,(10{,}333 - H_s - {}^1/_2\,h) - {}^1/_2\,Q_m{}^2}{Q_m\,.\,Q_s}$$

Bezeichnet man die Differenz $(10{,}333 - H_s - {}^1/_2\,h)$ mit H_n und lässt man den Subtrahenten ${}^1/_2\,Q_m{}^2$ unberücksichtigt, so vereinfacht sich die Gleichung zu folgender:

$$n_1 = \frac{10\,891\,.\,D^4\,.\,H_n}{Q_m\,.\,Q_s} \text{ für einfach wirkende und}$$

$$n_2 = \frac{21\,782\,.\,D^4\,.\,H_n}{Q_m\,.\,Q_s} \text{ für doppelt wirkende Pumpen.}$$

Q_s ist aber $\pi/4 \,.\, D^2 \,.\, L$, wodurch

65) $$n_1 = \frac{13.874 \,.\, D^2 \,.\, H_n}{L \,.\, Q_m}$$ und

65a) $$n_2 = \frac{27\,748 \,.\, D^2 \,.\, H_n}{L \,.\, Q_m}.$$

66) $$D_1 = 0{,}0086 \sqrt{\frac{n_1 \,.\, L \,.\, Q_m}{H_n}}$$ für einfach wirkende Pumpen,

66a) $$D_2 = 0{,}0061 \sqrt{\frac{n_2 \,.\, L \,.\, Q_m}{H_n}}$$ für doppelt wirkende Pumpen.

Bei dem Gebrauche obiger Gleichungen ist zu berücksichtigen, dass der Saughöhe H_s noch die Reibungswiderstände zuzurechnen sind, welche sich sowohl aus der Länge der Saugrohrleitung, als auch beim Durchgang durch die Saugventile ergeben, so dass H_s entsprechend grösser ausfällt als der senkrechte Abstand des Saugwasserspiegels von der Unterkante des Druckventils.

Von grösstem Einfluss auf die Grösse dieser Widerstände ist die Länge des Saugrohres.

Für den Fall, dass $n = 60$, $Q_m = 1{,}0$ cbm, und $H_n = 4$ m ist, ist

67) $$D = \frac{0{,}0086 \,.\, 7{,}746}{2} \sqrt{L} = 0{,}0333 \,.\, \sqrt{L}$$

für einfach wirkende Pumpen, und

$$D = 0{,}0232 \sqrt{L}$$ für doppelt wirkende Pumpen.

Wäre z. B. $L = 16{,}0$ m, so wird $D =$ rund 0,100 m
„ „ $L = 64$ „ „ „ $D =$ „ 0,200 m.

Mit der Länge nehmen aber auch die Reibungsverluste zu, während durch die Vergrösserung der Lichtweite die Geschwindigkeit des Wassers abnimmt im Verhältnis der Quadrate dieser Lichtweiten, und die Reibungswiderstände wachsen im Verhältnis der Geschwindigkeitsquadrate, d. h. wenn D und D_1 die verschiedenen Lichtweiten und S und S_1 die verschiedenen Geschwindigkeiten bezeichnen, so ist $\frac{S}{S_1} = \frac{D_1^2}{D^2}$; und die entsprechenden Reibungswiderstände R und R_1 verhalten sich

$$\frac{R}{R_1} = \frac{S^2}{S_1^2} = \frac{D_1^4}{D^4} = \frac{L_1^2}{L^2},$$

dies ist das Verhältnis der Reibungswiderstände mit Bezug auf die Geschwindigkeiten S und S_1; mit Bezug auf die Längen L und L_1 der Saugrohrleitung ist

$$\frac{R}{R_1} = \frac{L}{L_1}, \text{ daher in Bezug auf beide}$$

$$\frac{R}{R_1} = \frac{L_1^2}{L^2} \cdot \frac{L}{L_1} = \frac{L_1}{L},$$

d. h. mit der Verlängerung der Saugrohrleitung und gleichzeitigen Erweiterung derselben auf $D_1 = 0{,}0333 \sqrt{L}$ werden die Reibungswiderstände nicht erhöht, sondern vermindert, H_s wird infolgedessen etwas grösser und D_1 wird durch die obige Zahlengleichung, wo H_s etwas grösser als 4,0 m wird, um ein Geringes zu gross erhalten, was nicht nachteilig ist. Will man ganz genau rechnen, so kann man durch Wiederholung unter vorheriger Berichtigung von H_s nach den wirklichen Reibungswiderständen ein neues D_1 aufsuchen. Man kann D_1 auch unmittelbar berechnen, wenn man statt H_s in obige Gleichungen den senkrechten Abstand des Saugwasserspiegels H einsetzt und dazu noch den Wert für die Reibungswiderstände bei verändertem L und D hinzufügt.

Die Durchmesser D_2 der Saugröhren für doppelt wirkende Pumpen verhalten sich zu denen der einfach wirkenden Pumpen wie

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{1{,}4142} \text{ und } D_2 = 0{,}71\, D_1.$$

Der Pumpenkolben muss mindestens einen Durchmesser haben, welcher gleich gross demjenigen der Saugröhren ist, da dieser schon für die höchste erreichbare Wassergeschwindigkeit im Saugrohre berechnet ist. Bei dem Übertritt des Wassers aus der Saugleitung in einen engeren Pumpencylinder müsste daher das Wasser seine Geschwindigkeit vergrössern, und da dies nicht mehr möglich wäre, so müsste die Wassersäule abreissen und dann unter heftigem Schlage sich wieder vereinigen. Ventilkolben müssen deshalb einen solchen Durchmesser erhalten, damit dem Kolbenventile eine dem Saugrohrdurchmesser gleiche Weite gegeben werden kann.

Die Kolbendurchmesser werden auch für massive Kolben

gewöhnlich 1,4 mal so gross gemacht, als die Saugrohrdurchmesser $D_k = 1{,}4 \,.\, D$.

Um für sehr lange Saugrohrleitungen nicht übermässig grosse Lichtweiten anwenden zu müssen, bedient man sich der *Saugwindkessel*, welche die Saugrohrleitung möglichst nahe den Pumpen unterbrechen. Sind diese Windkessel zum Teil mit Luft, zum Teil mit Wasser gefüllt, so werden die Ungleichheiten der Geschwindigkeit der Pumpenkolben bei ihrem Auf- und Niedergange ausgeglichen, indem bei der geringsten Kolbengeschwindigkeit die Dichtigkeit der Luft im Windkessel sich entsprechend erhöht, welche Dichtigkeitsvermehrung dann bei Eintritt der höchsten Kolbengeschwindigkeit dazu dient, der Wassersäule im Saugrohre verstärkten Antrieb nach den Pumpen zu geben. Der Windkessel wirkt hier als Kraftsammler während der Zeit des Überschusses und als Kraftspender zur Zeit des Mangels. Die Luft in den Saugwindkesseln ist selbstverständlich in einem der Saughöhe entsprechenden Masse verdünnt, und diese Verdünnung muss äusserlich erkenntlich gemacht werden durch Anbringung von Vakuummetern, sowie die Grösse der Luftfüllung durch Wasserstandszeiger bemerklich gemacht wird; ferner muss ein Lufteinlassventil vorhanden sein, um entwichene Luft wieder zu ersetzen.

Durch Aufstellung von Saugwindkesseln kann man sich damit begnügen, die Lichtweite der Saugröhren in der Weise zu bemessen, dass die mittlere Wassergeschwindigkeit darin 1,0 m nicht übersteigt. Für die Minutenwassermenge Q_m erhält man die Sekundenwassermenge $Q_s = \frac{Q_m}{60}$ und

$$68)\quad D = 0{,}146 \sqrt{Q_m};\ \text{oder}\ D = 1{,}13 \,.\, Q_s.$$

Bei Annahme der Wassermenge hat man auch etwaige künftige Ansprüche zu berücksichtigen.

Für Saughöhen, die grösser als 2,0 bis 3,0 m sind, erhalten die Saugleitungen vor ihrer unteren Ausmündung ein *Rückschlagsventil*, welches bei Unterbrechung des Pumpenbetriebes den Rücklauf des Wassers in der stetig ansteigenden Saugrohrleitung verhindert. Bei langen Saugrohrleitungen werden etwa erforderliche *Neufüllungen* der Saugleitung am besten durch

eine besondere, von der Druckleitung abgezweigte Rohrleitung bewirkt. Diese abgezweigte Druckleitung hat zugleich den Zweck, die Saugrohrleitung durch Druckwasser kräftig ausspülen zu können, weshalb ihr Anschluss an das Saugrohr möglichst nahe den Pumpen zu erfolgen hat. Jede Saugrohrleitung muss vom Saugwasserspiegel bis zu den Pumpen ununterbrochen einer ansteigenden Linie folgen, damit sogenannte „Luftsäcke", die sich an Scheitelpunkten auf- und absteigender Linien bilden, darin nicht entstehen können. Luftsäcke verursachen die Ansammlung grösserer Luftmengen, welche zunächst den Rohrquerschnitt verengen, und schliesslich bei genügender Spannung sich gewaltsam einen Weg im Saugrohr aufwärts bahnen, Stösse darin verursachend.

Die untere Mündung der Saugleitungen wird gegen das Eindringen grober Unreinigkeiten im Wasser durch Vorlage eines Seihers, sogenannten Saugkorbes geschützt.

Die Saugleitungen müssen vor allem ganz luftdicht sein, und man verwendet daher zur Verbindung der einzelnen Röhren am besten die Muffenverbindung mittels Bleidichtung; ausserdem werden lange Saugleitungen, um sie stets in bestem Zustande erhalten zu können, auch in besondere, begehbare Kanäle verlegt. Zweckmässig ist es, die Saugleitungen vor allem kurz anzulegen; häufig hat man durch Anlage von Heberleitungen, welche dem Saugrohre das Wasser von der Entnahmestelle zuführen, ein Mittel in der Hand, die Länge der Saugleitung beträchtlich zu kürzen, und man sollte nie unterlassen, dies Mittel anzuwenden.

Die Druckleitung der Pumpen.

In der ersten Hälfte des Kolbenhubes wirkt der Kolben beschleunigend auf die Wassersäule im Druckrohre; in der zweiten Hälfte des Hubes dagegen verzögernd, so dass die mit der Höchstgeschwindigkeit der ersten Hubhälfte ausgestattete Wassersäule infolge der Geschwindigkeitsabnahme in der zweiten Hubhälfte sich an irgend einer Stelle trennen muss, um sich durch Wasserschlag gleich wieder zu vereinigen. Hemmend wirken der Wasserbewegung nur die Reibungswiderstände in der Leitung, sowie der Luftdruck auf die Ausmündung des Druckrohres entgegen; je

weiter man sich von den Pumpen entfernt, desto weniger ist daher eine Trennung der Wassersäule möglich, und weil die Verzögerung durch Reibungswiderstände in den scharfen Krümmungen der Druckleitungen am grössten ist, so eilt die Wassersäule oberhalb der Krümmung bei Verlangsamung der Kolbengeschwindigkeit derjenigen in der Krümmung voraus, trennt sich und fällt dann gleich wieder auf jene zurück.

Die dadurch veranlassten Wasserschläge sind um so heftiger, je grösser die Druckhöhe über der Trennungsstelle ist. Man sucht daher Krümmungen in der Druckleitung in der Nähe der Pumpen möglichst zu vermeiden, oder legt dieselben mit möglichst grossem Halbmesser an.

Wie die Saugwindkessel eine Ausgleichung der Geschwindigkeitsveränderungen im Saugrohre bewirken, in ähnlicher Weise geschieht dies durch die unmittelbar hinter den Pumpen eingeschalteten Druckwindkessel, in welchen sich die Luft in einer Spannung befindet, welche der Wassersäule im Druckrohre das Gleichgewicht hält. Die Spannung der Luft wird hier durch einen Manometer äusserlich erkennbar gemacht, sowie die Grösse der Luftfüllung durch ein Wasserstandsglas.

Um immer genügenden Luftraum im Windkessel zu erhalten, ist mit der Betriebsmaschine eine kleine Luftpumpe in Verbindung, womit von Zeit zu Zeit die etwa entwichene Luft wieder ersetzt wird. Zum Lufterssatz dient auch ein sogenanntes Schnarchventil, das unter der Pumpe in das Saugrohr eingesetzt wird.

Je grösser der Windkessel, bezw. dessen Luftraum ist, der wie bei den Saugwindkesseln etwa zwei Drittel des ganzen Kesselinhaltes betragen soll, desto weniger können sich die Einflüsse der Kolbenbewegung auf die Bewegung des Wassers im Druckrohre fühlbar machen. Gewöhnlich erhält jede Pumpe für sich einen kleinen Druckwindkessel, dessen Inhalt gleich dem 3—5 fachen Pumpeninhalte ist; ausserdem wird aber dann noch für jede aus mehreren Pumpen zusammengesetzte Betriebsgruppe ein gemeinschaftlicher grösserer Windkessel aufgestellt.

Dieser Hauptwindkessel wird mit dem Hauptdruckrohre durch ein Rückschlagsventil verbunden, wodurch verhindert wird,

dass bei vorkommenden Undichtigkeiten am Windkessel oder vor demselben die unter hohem Drucke stehende Wassersäule des Druckrohres sich rasch nach unten ergiessen kann; häufig setzt man bei langen Druckröhren auch noch einen Absperrschieber in die Druckleitung.

Die Druckrohrleitung soll wie die Saugrohrleitung in einer stetig ansteigenden Linie verlaufen; Scheitelpunkte, wo sich Luftsäcke bilden können, sind hier ebenfalls nachteilig. Sind solche Scheitelpunkte nicht zu vermeiden, so müssen sie durch selbstthätige Ventile oder angeschlossene über die Drucklinie reichende Röhren entlüftet werden.

Die Lichtweite der Druckröhren ist nach dem voraussichtlichen grössten Förderquantum mit Zugrundelegung einer mittleren Geschwindigkeit von 1,0 m zu berechnen. Je nach der Länge einer Druckleitung kann manchmal durch die Wahl einer grösseren Lichtweite und dadurch erzielter geringerer Reibungsverluste eine Ersparnis an Betriebskosten erreicht werden, welche die Mehrkosten für die grössere Lichtweite übertrifft; dies ist jedoch durch besondere Berechnung nachzuweisen.

Einzelteile der Pumpen.

Die Pumpenkolben. — Ein guter Pumpenkolben soll luft- und wasserdicht sich dem Cylinder anschliessen, und dabei möglichst geringe Reibung veranlassen. Die Körper der Kolben bestehen in der Regel aus Gusseisen mit etwas kleinerem Durchmesser, als derjenige des Cylinders, gegen welchen sie erst durch Liderungen von Hanf, Leder oder Kautschuk abgedichtet werden; dabei nützt sich der Kolbenkörper selbst nicht ab, sondern nur dessen Liderung, die man leicht erneuern kann.

Ventilkolben. — Diese müssen sich bei dem Niedergange des Kolbens leicht öffnen mit solchem Durchgangsquerschnitt, damit das Wasser ungehindert hindurch kann; das Kolbenventil muss sich bei Erreichung des tiefsten Kolbenstandes sofort schliessen, um ein Zurückfallen des Wassers zu verhüten. Die Ventile der Kolben sind gewöhnlich Klappenventile aus Leder oder Kautschuk, deren Drehachse sich in länglichen Lagern senkrecht bewegen

kann, wodurch ein gleichmässiges Aufliegen der Dichtungsfläche ermöglicht wird; ausserdem sind diese Klappenventile weniger empfindlich gegen Unreinigkeiten im Wasser.

Zur Erzielung eines möglichst raschen Ventilschlusses werden auch Ventile angewendet, deren Öffnung aus mehreren über oder nebeneinander gestellten Rinnen besteht, welche durch bewegliche Kautschukringe bedeckt sind, oder Doppelsitzventile mit geringer Hubhöhe.

Die massiven Kolben bestehen als Taucherkolben aus Gusseisen oder Messing, als Scheibenkolben hauptsächlich aus Gusseisen mit Leder- oder Kautschukliderung, ähnlich wie bei den Ventilkolben.

Die Pumpenventile sind entweder selbstthätige oder gesteuerte. Die selbstthätigen Ventile können wohl bei langsam gehenden Pumpen durch ihre Öffnung und raschen Schluss den Bewegungen des Kolbens folgen, bei schnellgehenden Pumpen ist dies jedoch nicht mehr der Fall. Bei Anwendung der selbstthätigen Ventile ist die Hubzahl der Pumpen deshalb eine beschränkte. Auch hier hat man, wie oben bei den Kolbenventilen schon erwähnt wurde, die Beweglichkeit der Ventile zu erhöhen gesucht durch Anwendung von Doppelsitz- und Etagenventilen, und damit gelangt man bis zu einer Anzahl von 60 Doppelhüben in der Minute.

Die gesteuerten Ventile öffnen sich selbstthätig, werden aber vor Beendigung des Hubes durch Steuerung zu geräuschlosem Schlusse gezwungen. Mittels dieser Ventile kann man, ohne Gefahr von Wasserschlägen, hohe Umdrehungszahlen erreichen.

Die Wasserhebungsmaschinen in ihrer Gesamtheit.

Die zweckmässigste Anordnung ist, wenn Pumpen- und Dampfcylinder horizontal in gemeinschaftlicher Achse liegen; sind zwei Pumpen vorhanden, deren Achsen in einer horizontalen Ebene mit dem Dampfcylinder liegen, so werden die drei Achsen durch Kurbeln, die gegenseitig um 90° verstellt sind, auf der gemeinschaftlichen Schwungradwelle vereinigt.

Die Worthingtonpumpe hat ebenfalls diese horizontale Anordnung, jedoch ohne Schwungrad; zur Ausgleichung der Kolbenbewegung sind die beiden Dampfcylinder und die zwei Pumpencylinder so mit einander gekuppelt, dass die Schiebersteuerung des einen Dampfcylinders von der Kolbenstange des andern Antrieb erhält und umgekehrt. Die Pumpen sind doppeltwirkend, liegend über den Saugventilen, die Druckventile über den Pumpen. Die Ventile bestehen aus einer Anzahl kleiner Ventile, die im Abnutzungsfalle leicht ausgewechselt werden können.

Die Worthingtonpumpen werden auch als Verbundmaschinen für grössere Wassermengen und Druckhöhen gebaut. Ähnlich den Worthingtonpumpen sind die sogen. Duplexpumpen (Fig. 111 u. 112), die auch wenig Raumbedürfnis haben, dagegen mehr Dampf verbrauchen, als die Schwungradmaschinen, die ebenfalls für grössere Leistungen Verbunddampfmaschinen mit Kondensation erhalten.

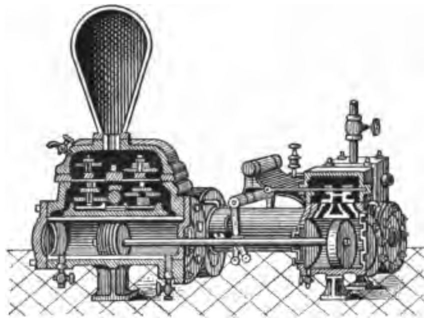


Fig. 111.
Scheibenkolbenpumpe mit zwei Dampfcylindern (sog. Duplexpumpe).

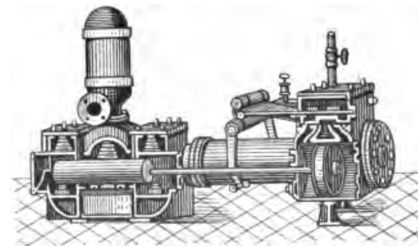


Fig. 112.
Duplex-Taucherkolbenpumpe mit zwei Dampfcylindern.

Während einerseits die horizontale Anordnung den Vorteil grosser Übersichtlichkeit und bequemer Zugänglichkeit hat, haftet ihr andrerseits der Nachteil an, dass durch die gleitende Bewegung der Kolben diese sich (Dampf- und Pumpenkolben) einseitig, nämlich unten, abnützen und die Stopfbüchsen der Plungerkolben stark angezogen werden müssen, und dass die Schwungradmaschinen verhältnis-

mässig viel Raum erfordern. Auch liegt der Saugwasserspiegel häufig so tief unter der Bodenoberfläche, dass man bis zur äusserst zulässigen Grenze der Saughöhe (7 bis 8,0 m) gehen müsste, um eine horizontale Pumpenanlage zu ermöglichen. Eine spätere unvorhergesehen eintretende weitere Absenkung des Saugwasserspiegels würde in diesem Falle die Pumpen wirkungslos machen.

Für tiefliegende Saugwasserspiegel ist daher die senkrechte Anordnung der Pumpen die zweckmässigere; die Dampfcylinder können dabei in der horizontalen Lage verbleiben oder auch senkrecht über den Pumpen gelagert werden. Diese Anordnung ist im allgemeinen etwas teurer, als die horizontale, beansprucht aber nur geringen Aufstellungsraum, die Zugänglichkeit ist jedoch beeinträchtigt. Ein wesentlicher Vorteil der senkrechten Anordnung ist die gleichmässige Beanspruchung aller Teile, und dass eine einseitige Abnützung der Kolben, besonders der Scheibenkolben der Pumpen, in sandigem Wasser ausgeschlossen ist.

Wo eine unmittelbare Übertragung vom Motor auf die Pumpe schwierig oder überhaupt nicht angängig ist, werden Hilfsglieder zwischengeschaltet. Ein solches Zwischenglied ist der sogenannte Balancier, welcher die Bewegung horizontaler Dampfmaschinen sehr zweckmässig auf senkrechte Pumpen überträgt. Je nachdem man die Kolbenstange der Pumpe an einem kürzeren oder längeren Hebelarme des Balanciers kuppelt, kann man die Geschwindigkeit des Dampfkolbens grösser machen, als die des Pumpenkolbens, wodurch eine grössere Nutzleistung erreicht werden kann. Ferner können andere Nebenmaschinen, wie Speisepumpen, Luftpumpen sehr bequem von dem Balancier ihren Antrieb erhalten. Dagegen sind die Balanciermaschinen teuer, verlangen starke Fundamente und sind nicht bequem zugänglich.

Die Balanciers können sowohl wagrecht, als auch senkrecht schwingend angeordnet werden; erstere Lage erhalten sie, wenn die Pumpen auch wagrecht, aber tiefer als die Dampfmaschinen liegen.

Ausserdem kommen je nach der Lage der Pumpen als Zwischenglieder noch verschiedene Konstruktionen von Winkelhebeln und sogen. Kunstkreuzen, besonders für Schachtpumpen, in Verwendung, die man jedoch, wenn möglich, vermeiden sollte, da es stets schwierig ist, diese Bewegungsteile auf die Dauer in gesicherter, ruhiger Gangart zu erhalten.

So wünschenswert es ist, die Dampfmaschine mit der ihrer grössten Nutzleistung entprechenden Geschwindigkeit arbeiten zu lassen, so verzichtet man doch in der Regel auf die volle Erreichung dieser Geschwindigkeit zu Gunsten der unmittelbaren Kraftübertragung auf die Pumpen; man ist dagegen bestrebt, die Pumpengeschwindigkeit durch verbesserte Ventilkonstruktionen zu erhöhen. Bei Verwendung von Motoren mit erheblich hohen Umdrehungszahlen, wie Wasser-, Gas- und Elektromotoren, ist jedoch eine unmittelbare Kraftübertragung nicht mehr möglich für Förderung grösserer Wassermengen auf die nötigen Versorgungshöhen; es müssen dann Transmissionen, sei es mittels Riemenscheiben oder Zahnradvorgelegen, angewendet werden. Riemen- oder Drahtseiltransmission ist der Zahnradtransmission insofern vorzuziehen, als der Gang jener ein ruhigerer ist.

Die Gebäude, in welchen die Pumpwerke untergebracht werden, müssen vor allem genügend Raum für eine bequeme Bedienung der Maschinen bieten; das Mauerwerk soll gegen Aufsteigen der Grundfeuchtigkeit gesichert, die Beleuchtung eine allseitig erhellende und die Heizbarkeit eine völlig ausreichende sein. Selbstverständlich ist für eine sehr feste Gründung der Maschinen zu sorgen und das Gebäude auch in seinen unterirdischen Räumen gegen den Andrang des Grundwassers, sowie auch gegen Oberflächenüberschwemmung zu schützen. Mit Rücksicht auf die Grösse einzelner Maschinenteile ist dafür Sorge zu tragen, dass dieselben durch vorgesehene Maueröffnungen sowohl hinein-, als auch wieder hinausgebracht werden können. Thore, hohe Bogenfenster oder Entlastungsbogen im Mauerwerke, die vorübergehend zugemauert werden, können diesem Zwecke dienen; Laufkrahnen

in entsprechender Anordnung können den Transport schwerer Maschinenteile erleichtern.

Der Maschinenraum muss schon aus Gründen der Reinlichkeit von dem qualmenden und dampfenden Kesselhause durch eine Mauer getrennt sein, so dass nur eine Thür die Verbindung zwischen beiden herstellt; nur bei ganz kleinen Pumpwerken ist eine solche Trennung aus Ersparnisrücksichten nicht durchführbar, denn hier ist der Maschinenwärter gewöhnlich auch der Heizer.

Ausserdem ist in der Regel noch eine kleine Werkstätte dem Maschinenhause anzuschliessen, sowie ein zum Kesselhause günstig gelegener Kohlenschuppen; bei grossen Anlagen kommt ferner noch hinzu ein Wohngebäude, Kanzleigebäude u. dgl.

Zur Sicherung eines geordneten Betriebes ist im Maschinenhause eine Singnalvorrichtung anzubringen, welche einen Höchst- und einen Mindestwasserstand in den Sammelbehältern anzeigt.

Ist das Maschinenhaus in grösserer Entfernung von dem Versorgungsgebiete gelegen, so ist das Verwaltungsgebäude im Versorgungsgebiete mit dem Maschinenhause telephonisch zu verbinden.

Die Grösse des erforderlichen Raumes für Maschinen- und Kesselhaus ergibt sich aus dem für die nächste Zeit zu erwartenden Wasserbedarfe mit Hinzurechnung eines bereit zu haltenden Raumes für eine später aufzustellende Dampfmaschine sowie eines Dampfkessels.

Einfachheit, klare Übersichtlichkeit ist der grösste Schmuck für das Innere und Äussere aller dem Maschinenbetriebe dienenden Gebäude.

Beschreibung mehrerer ausgeführter Wasserhebungsanlagen.

Unter den von dem Königl. Bayrischen technischen Bureau für Wasserversorgung ausgeführten Wasserwerken befinden sich folgende, die im „Journal für Gasbeleuchtung“, Jahrg. XXXVIII, vom Königl. Bauamtmann Brenner beschrieben und auch bildlich dargestellt sind und wovon ich in Kürze das Wesentliche hier mitteile.

Die Maschinenanlage für die Wasserversorgung der auf dem Juraplateau liegenden Gemeinde Hohenstein besteht aus einer Turbine nach System Girard mit horizontaler Achse, die Aufschlagwassermenge beträgt 9,9 Sekundenliter, das Nutzgefälle 21,0 m; an die Turbinenwelle ist eine zweicylindrige Plungerpumpe unmittelbar gekuppelt. Gefördert werden 30 Minutenliter zu den vier ständig fliessenden Ortsbrunnen auf eine Höhe von 155 m. Die Betriebsleitung ist 400, die Steigleitung 1550 m lang.

Das Pumpwerk für die Wasserversorgung des Dorfes Sanspareil besteht aus einer Turbine nach System Jonval für eine Aufschlagwassermenge von 160 bis 180 Sekundenliter mit 0,7 m Nutzgefälle. Die Turbine treibt mittels Riementransmission eine Zwillingspumpe, welche 26 bis 31 Minutenliter auf 116 m Höhe fördert. Die Druckleitung ist 2100 m lang.

Für die Wasserversorgung des Marktes Presseck wird die etwa 3 km entfernte Tiefquelle durch eine liegende, doppeltwirkende Differentialpumpe in das 114 m höher gelegene Reservoir gefördert. Getrieben wird die Pumpe durch Riementransmission von einem 6pferd. Benzinmotor, der mit 200 Umdrehungen in der Minute läuft. Das Pumpwerk liefert in der Stunde 10,2 cbm zum Reservoir. Der Kubikmeter gefördertes Wasser erfordert 366 g Benzin und kostet ungefähr 9 Pfennig.

Lueger bringt S. 627 Beschreibung und Zeichnung des Wasserradpumpwerks in Berg bei Stuttgart, der ich folgendes entnehme:

Bei einem nutzbaren Gefälle von 1,8 m stehen 8,50 cbm Triebwasser in der Sekunde zur Verfügung. Die Arbeitsleistung ist auf vier gleiche, unterschlächtige Schaufelräder verteilt, welche 5,0 m Durchmesser haben und das Wasser aus 4,0 m breiten Überfalleinläufen empfangen. Sie bewegen sich in aus Quadermauerwerk hergestellten Kropfgerinnen und geben an 65 % Nutzleistung. Die hölzernen Radschaufeln sind auf beiden Seiten durch Blechtafeln begrenzt, auf welchen Zahnkränze von 4,2 m Durchmesser aufgenietet sind, die in ein kleines Zahnrad eingreifen. Das letztere macht 22 Umdrehungen in der Minute, die Wasser-

räder durchschnittlich 5,5 Umdrehungen, das Übersetzungsverhältnis ist demnach 1 : 4. Die kleinen Zahnräder übertragen die Kräfte unmittelbar auf die beiderseitigen doppelt wirkenden Pumpenpaare von 80 mm Cylinderweite, 660 mm Hublänge und 83 m Förderhöhe. Sämtliche 16 Pumpen liefern in der Stunde 343,4 cbm, was einer Leistung von 106 Pferdestärken oder 0,58 % Nutzleistung entspricht.

Das neue Flusswasserwerk von Hannover, zur Lieferung von Spreng- und Spülwasser und zu gewerblichen Zwecken, benutzt die Wasserkraft der Leine mit 2,15 m Gefälle durch 3 Turbinen von 43 Pferdestärken Nutzleistung, wozu später noch eine vierte gleiche Turbine kommen soll. Jedes Pumpwerk besteht aus 2 Paar doppelt wirkenden Pumpen mit täglich 6900 cbm Wasserförderung, auf 32,0 m Höhe. Die Turbinen sind Doppelkranz-Turbinen, die inneren Kränze auf Aktion, die äusseren auf Reaktion geschaufelt. Die Pumpen sind wagrechte Girard-Taucherpumpen mit 60 Umdrehungen in der Minute.

Ein Beispiel der Teilung der Hebungsmaschinen in Niederdruck- und Hochdruckpumpen liefert das Wasserwerk Pankow bei Berlin, wo durch die Anlage einer Rieselungs- und Enteisenungsvorrichtung diese Teilung veranlasst wurde.

Die Nieder-, sowie die Hochdruckanlage besteht je aus einer eincylindrigen, wagerechten Kondensationsmaschine mit Präzisionsschiebersteuerung; zur Förderung des Wassers über die Rieselbehälter dient eine senkrechte Schöpfpumpe, und zur Förderung in den Sammelbehälter eine wagerechte, doppelt wirkende Taucherpumpe. Die Schöpfpumpe hat eine Förderhöhe ohne Reibungswiderstände von 14,00 m, die Druckpumpe eine solche von 43,60 m, wobei die Dampfmaschinen für den mittleren Wasserbedarf von 1500 cbm mit 20,3 Pf.-St. für den Höchstbedarf von 2250 cbm mit 31,4 Pf.-St. Nutzleistung arbeiten. Zwei Cornwallkessel mit innenliegender Feuerung von je 35 qm Heizfläche liefern mit 6 Atmosphären Arbeitsdruck den nötigen Dampf.

Die Dampfcylinder haben 325 mm Durchmesser und 60 mm Hub. Die Schöpfpumpe, einfach wirkende Taucherpumpe, 293 mm

Durchmesser des Taucherkolbens und 500 mm Hub, die Druckpumpe 180 mm Durchmesser des Taucher- oder Mönchskolbens und 600 mm Hub.

Die Maschinenanlage der neuen Grundwasserversorgung von Leipzig besteht aus je drei Maschinen mit Pumpen und Kesseln, von denen jede Gruppe unter mittleren Betriebsverhältnissen 15 000 Tageskubikmeter zu leisten vermag. Die Kessel sind Zweiflammrohrkessel mit doppelter Tenbrinkvorlage von 70 qm Heizfläche bei 7 Atm. Überdruck. Der gemeinsame Schornstein hat runden Querschnitt von unten 1,48 m Lichtweite bei 35,0 m Höhe. Die Maschinen sind Receivercompound-Balanciermaschinen von 383 und 590 mm Kolbendurchmesser und 900 mm Hub; jede der beiden Kolbenstangen treibt unmittelbar mit ihrer Verlängerung nach unten den Kolben einer einfach saugenden und doppelt drückenden Pumpe von 282 und 398 mm Durchmesser. Die Saugventile sind Ringventile von 1000 mm Sitzdurchmesser, die Druckventile sind den Saugventilen gleich, nur dass von den fünf Durchgangsringflächen die beiden innersten fehlen. Von einer Steuerung der Ventile ist abgesehen, dagegen die Anbringung von Federbelastung durch Gummipuffer vorgesehen; auch ohne diese arbeiten jedoch die Ventile bei 54 Minutendrehungen sowohl, wie bei einer Steigerung auf über 70 Umdrehungen dauernd vollkommen stossfrei. Die senkrechte Saughöhe bei tiefstem Kolbenstande ist 7,4 m. Je zwei zu einer Maschine gehörige Pumpen besitzen einen Saugwindkessel und ein gemeinsames Saugrohr von 600 mm Lichtweite, sowie gemeinsames Druckrohr von 550 mm Lichtweite; die Druckrohre der drei Pumpengruppen vereinigen sich in einem Hauptdruckwindkessel.

Bei tiefster Absenkung im Sammelbrunnen und Förderung von 30 000 Tageskubikmetern durch zwei Maschinen berechnet sich die Förderhöhe einschliesslich Reibung zu rd. 32,0 m, demnach die Nutzleistung jeder Maschine zu rd. 80 Pferdestärken. Die bebaute Fläche des Maschinenhauses beträgt 265 qm, diejenige des Kesselhauses nebst Nebenräumen 283 qm, des Kohlenschuppens 250 qm.

Die Wasserhebungsanlage mit Gasmotorenbetrieb für die Stadt

Meissen findet sich bei Lueger S. 672, wovon ich nachstehend das Hauptsächliche mitteile:

Die Lage der Pumpstation in der Nähe eines Parkes bedingte einen Betrieb ohne Schornstein, ohne Russ- und Rauchbelästigung, sowie dass kein Dampf-, Auspuff- und Zahnradgeräusch stattfinde und die erforderliche Baufläche auf ein Mindestmass beschränkt werde.

Das Pumpwerk besteht aus drei Maschinen mit je einem Pumpensystem von je 30 Sekundenliter Leistungsfähigkeit auf 96 m Förderhöhe; ausgeführt wurden zunächst nur zwei Maschinen. Die Maschinenhaussohle liegt hochwasserfrei 14,0 m über dem niedrigsten Saugwasserspiegl, weshalb stehende Pumpen angewendet wurden. Jedes Pumpensystem wird von einem 50pferd. Zwillingsgasmotor angetrieben. Zur Arbeitsübertragung dienen fünf Baumwollseile von 45 mm Durchmesser, welche von der Seilscheibe auf der Kurbelwellen-Verlängerung unmittelbar auf die Seilscheibe der Pumpenkurbelwelle laufen.

Diese unmittelbare Übertragung wurde nur möglich durch Anordnung von drei einfach wirkenden Pumpen, deren Mönchskolben von drei unter 120° gegen einander verstellten Kurbeln bewegt werden. Die Motoren machen 150 Umdrehungen in der Minute, die Taucherkolben 75.

Die Pumpen haben einen gemeinschaftlichen Hauptdruckwindkessel und ein gemeinschaftliches Saugrohr von 400 mm Lichtweite mit Saugwindkessel. Die Druckleitung hat 350 mm Lichtweite. Zur Bedienung der ganzen Anlage genügt ein Mann. Mit einem Kubikmeter Meissener Leuchtgas erhält man eine reine Nutzleistung von 340 000 Kilogramm-Meter.

Von aussergewöhnlicher Stärke müssen die Maschinen sein, welche das Wasser zur Versorgung mit Wasserkraft liefern, wie solche in England vorhanden sind.

Die Anlagen in Glasgow und Manchester haben einen Betriebsdruck von 78 Atm. und sind zur Aufnahme von sechs senkrechten Maschinen von je 200 Pf.-St. mit dreifacher Expansion eingerichtet. Die Durchmesser der 3 Dampfcylinder sind 381,

559 und 914 mm; der Kolbenhub 408 mm; der Arbeitsdruck der Dampfkessel 8,5 bis 10,5 Atm. Jede der Pumpstationen enthält 2 Accumulatoren von 457 mm Kolbendurchmesser, 7,8 m Hub und 127 t Gesamtgewicht.

Jede Maschine soll bei 60 Umdrehungen 1040 l Wasser liefern; im Betriebe laufen sie gewöhnlich nur mit 50 Umdrehungen. Für fünf Maschinen ergibt dies eine stündliche Lieferung von 261 cbm unter 78 Atm. Druck.

Zehnter Abschnitt.

Die Förderung des Wassers durch Kanäle und Rohrleitungen.

Die Überführung des Wassers von einem Orte zum andern wird entweder durch Kanäle, worin das Wasser mit luftberührtem Spiegel fliesst, oder durch Röhren mit voller Füllung des Querschnittes in der ganzen Erstreckung von Einmündung bis Ausmündung, vermittelt. Offene Gerinne sind für Wasserversorgungszwecke wegen möglicher Verunreinigung des Wassers ausgeschlossen.

Bei der Wasserleitung mit luftberührter Spiegelfläche stehen die Kanalwände und Sohle nur unter dem von der Höhe der Spiegelfläche bestimmten Wasserdrucke; die Wasserleitung durch vollgefüllte Röhren setzt diese unter einen Wasserdruck, welcher von ihrer Tieflage unter der Einmündung und der Entfernung davon abhängig ist, unter Umständen also sehr bedeutend sein kann. Bei den Kanälen sind daher für deren Widerstandsfähigkeit nicht der Wasserdruck, sondern die von aussen darauf einwirkenden Kräfte, wie Bodenbelastung und Schiebungen, sowie Erschütterungen, massgebend, während für die Druckleitungen hauptsächlich die Pressung des Wassers auf die Rohrwände die grösste Widerstandsfähigkeit verlangt. Die Druckröhren

müssen daher vor allem aus sehr widerstandsfähigem Materiale hergestellt werden, ausserdem müssen die einzelnen Röhrenstücke, welche eine Leitung zusammensetzen, unter sich auf eine sichere, dichte Weise mit einander verbunden werden. Die Druckleitungen bestehen daher fast ausschliesslich aus Metallröhren, hauptsächlich Eisen und Blei; für geringe Druckhöhen hat man auch schon Thon zu verwenden gesucht, meist nicht mit Erfolg. Die Kanäle für die Gefällleitungen werden entweder aus Mauerwerk hergestellt, oder sie bestehen aus Thon- und Zementröhren. Gefäll- und Druckleitungen unterscheiden sich daher wesentlich von einander durch die dazu verwendeten Materialien, ihre Verbindung und Dichtung, sowie durch die Art ihrer Verlegung. Die Gefällleitungen müssen mit ihrer Spiegelfläche genau in der durch die Höhenlage der Ein- und Ausmündung bestimmten geraden Gefälllinie liegen, während die Druckleitungen unterhalb dieser Gefälllinie davon abweichen können. Ist z. B. das erforderliche Gefälle, um eine Wassermenge M von *A* nach *B*

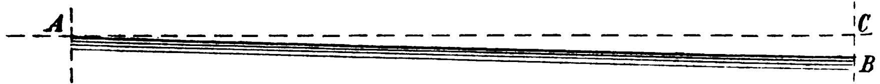


Fig. 111.

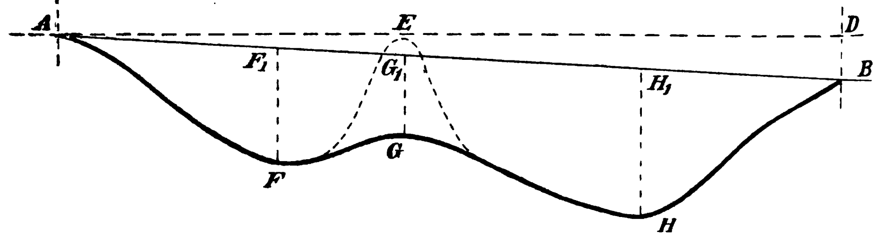


Fig. 112.

(in Fig. 111) zu leiten, h m und die für einen bestimmten Kanalquerschnitt damit sich ergebende Geschwindigkeit S bei dem Wasserquerschnitt $F = \frac{M}{S}$, so muss die Sohle des Kanales so verlegt werden, dass die Spiegelfläche bei vollem Wasserquerschnitt überall in die Linie *AB* fällt; hat der Kanal auf der Strecke *AB*

verschiedene Querschnitte, so ändert sich auch die Tieflage der Sohle, weil die Spiegelfläche unveränderlich ist.

Wird das Wasser aber durch eine Druckleitung von A nach B (Fig. 112) geleitet, so wird im allgemeinen das zur Überführung erforderliche Gefälle hier etwas grösser sein, als bei der Gefällleitung von A nach B, nämlich BD; die Druckleitung kann sich jedoch in jeder beliebigen Linie von A nach B erstrecken, nur muss diese Linie immer unter der Linie AB liegen. Bei einem Hinübergreifen über die Linie AB bis E würde das vorhandene Gefälle nicht ausreichen, die Wassersäule bis zum Scheitelpunkte F zu erheben, der Wasserlauf wäre damit unterbrochen. Für den Verlauf der Druckleitung nach der Linie $AFGHB$ hätte das Wasser in der Leitung bei Punkt F eine Druckhöhe gleich FF_1, bei $G = GG_1$ und bei $H = HH_1$, d. h. die Druckhöhe in irgend einem Punkte der Leitung ist gleich dem senkrechten Abstande dieses Punktes von der Gefälllinie.

Mit Rücksicht darauf, dass Gefäll- und Druckleitungen sehr wesentlich von einander abweichen, werde ich im Folgenden jede für sich behandeln.

Die Gefällleitungen.

Gefällleitungen kommen im allgemeinen nur ausserhalb des Versorgungsgebietes, wo das Wasser nicht unter hohem Druck zur Verwendung stehen muss, in Ausführung; die Zuleitungen von der Wasserentnahmestelle bis zum Versorgungsgebiete werden jedoch häufig entweder ganz oder teilweise aus Gefällleitungen zusammengesetzt. Auf diesen Zuleitungsstellen ist es sogar vorteilhafter, das Wasser nicht unter hohem Drucke zu leiten, indem die Gefällleitungen mit grösserer Sicherheit in dichtem Zustande erhalten werden können; sie sind jederzeit leichter zugänglich und leichter zu unterhalten, als Druckleitungen. Ferner ist der Gefällverlust durch Reibungswiderstände in den Druckleitungen ein grösserer, als in Gefällleitungen, weil man hier dem Wasser eine geringere Geschwindigkeit geben kann, als in Druckleitungen, wo sie wenigstens 0,5 m betragen soll, um eine Anhäufung der

sich darin ablagernden Sinkstoffe zu verhüten. In Gefällleitungen können die im Wasser vorhandenen Sinkstoffe durch stellenweise eingebaute Sandfänge leicht abgeschieden und zeitweise entfernt werden. Die Kanäle der Gefällleitungen können ohne erhebliche Vermehrung der Herstellungskosten grössere Durchflussquerschnitte erhalten, als die metallenen Druckleitungen, und das Material für die Kanäle kann je nach der Beschaffenheit des Wassers und des Bodens, in welchen sie gebettet werden, so gewählt werden, dass es grösste Dauerhaftigkeit verspricht, während metallene Röhren in sumpfigem, saurem Boden stark angegriffen werden.

Ob diese Vorteile etwaige Mehrkosten gegenüber einer Druckleitung überwiegen, oder umgekehrt, hängt von örtlichen Verhältnissen ab. Da die Gefällleitung immer der Gefälllinie im Gelände folgen muss, so fällt die Länge gewöhnlich sehr gross aus, weshalb man die Gefälllinie durch Einschaltung von Thalübergängen mittels Aquädukten oder Heberleitungen zu verkürzen sucht. Eine zweckmässige Wahl derjenigen Strecken, welche als Gefällleitung anzulegen sind, kann daher nur nach Aufstellung vergleichender Kostenberechnungen in bestimmten Fällen getroffen werden.

Die Kanäle der Gefällleitung sollen wenigstens so tief in den Boden gebettet werden, dass sie allseitig eine Bodendeckung von 1,0 m haben, um sie gegen die Einflüsse der Aussentemperatur zu schützen. Werden sie an Berghängen entlang geführt, wo bei Regenfällen und während der Schneeschmelze der Boden stellenweise viel Sickerwasser führt, so muss für Entwässerung dieser Stellen, d. h. Sammlung und rasche Ableitung dieser Sickerwasser gesorgt werden, da sonst durch Aufweichung des Untergrundes und Rutschungen ein Undichtwerden der Kanäle verursacht wird.

Um der Luft über dem Wasserspiegel der Kanäle ungehinderten Ausgleich mit der oberirdischen Luft zu verschaffen und dadurch Stauungen zu verhüten, sind in Entfernungen von etwa 100 m Lüftungsröhren über dem Kanalscheitel bis über die Bodenoberfläche in die Höhe zu führen.

Um die Kanäle von Zeit zu Zeit auf ihre Reinheit und Durchlässigkeit untersuchen zu können, sind ebenfalls in Entfernungen von etwa 100 m besteigbare Sichtschächte einzubauen, an welche die Lüftungen gleich mit angeschlossen werden können. Ferner sind in jedem Knickpunkte der Leitung, sowie an Verbindungsstellen mit Seitenkanälen solche Sichtschächte anzulegen. Die Einmündung des Wassers in den Kanal, sowie auch die Ausmündung wird durch einen besteigbaren Schacht oder grössern Behälter vermittelt, welche mit Überlauf und Entleerungsvorrichtung zu versehen sind. Bei langen Zwischenstrecken ist es ebenfalls zweckmässig, einzelne Sichtschächte mit Überlauf und Entleerung auszurüsten, um bei zufälligen Verstopfungen von Kanälen grösseren Rückstau zu vermeiden, oder bei etwa nötigen Ausbesserungen nicht die ganze Leitung entleeren zu müssen.

Die Kanäle sind entweder nicht schlüpfbar, schlüpfbar oder begehbar, je nachdem die abzuführende Wassermenge einen grösseren oder kleineren Durchflussquerschnitt verlangt, oder je nachdem die verfügbaren Baumittel dabei einschränkend wirken; mit der leichteren Zugänglichkeit erhöht sich die Betriebssicherheit.

Die unschlüpfbaren Kanäle bestehen aus Thon- oder Zementröhren; gemauerte Kanäle kleinen Querschnittes kosten, wenn sie gut wasserdicht hergestellt werden, mehr als diese Röhren. Thonröhren und Zementröhren kosten in den kleineren Lichtweiten bis 300 mm gleich viel; bei grösseren Lichtweiten werden Zementröhren etwas billiger als Thonröhren. Glasierte Thonröhren haben jedoch den Vorzug, dass sie sehr glatte Innenwände besitzen, daher möglichst wenig Reibung beim Wasserdurchfluss verursachen und auch nicht die Ablagerung von Sinkstoffen begünstigen; ferner sind diese Thonröhren sehr dicht, sie können leicht einem Druck bis 1 Atmosphäre widerstehen, und gestatten durch ihre Muffenverbindungen eine sichere, dabei elastische Dichtung. Zementröhren begünstigen nicht nur die Ablagerung von Sinkstoffen, sondern werden auch auf der Sohle durch diese Ablagerungen, besonders durch scharfe Sande, durchgescheuert. Die Verbindung der einzelnen Zementröhren wird gewöhnlich durch eine enge Fuge bewirkt, welche bei geringen Ver-

schiebungen der Leitung in Folge Bodenbewegung leicht undicht werden. Wo Zementröhren in schwachem Gefälle liegen und auf sicheren säurefreien Untergrund gelagert sind, können sie auch von längerer Dauer sein. Thonröhren haben sozusagen eine unbegrenzte Dauer, denn noch heutzutage bestehen Wasserleitungen, die von den alten Römern angelegt wurden.

Gute Thonröhren müssen scharf gebrannt, kreisrund, von gleichmässiger Wandstärke und grosser Festigkeit sein, beim Anschlagen einen hellen Klang geben, und ein Scherben eines Thonrohres darf in 24 Stunden nicht mehr als 3 % Wasser aufnehmen; sie müssen frei von Rissen, Sprüngen und Blasen sein; Muffen und Schwanzende mit Rillen versehen.

Zur Bestimmung der Wandstärke der Thonröhren dient folgende Formel, worin W = Wandstärke in Millimeter, d = Lichtweite in Millimeter bezeichnet:

$$\text{für d von 0 bis 400 mm ist } W = \frac{d}{20} + 9 \text{ mm}$$

$$\text{„ d „ 400 mm u. darüber } W = \frac{d}{18} + 9 \text{ mm.}$$

Die Dichtung der Muffen wurde bisher meist durch Eintreiben von etwa 3 Ringen geteerter Hanfstricke mit darauf folgendem Ausstreichen der Muffenfuge mittels Wasserletten bewirkt; über die Dichtungsfuge wurde dann noch ein Lettenwulst gelegt. Diese Dichtung hat den grossen Nachteil, dass die feinen Saugwurzeln der Bäume in die Fuge und von da in das Rohr dringen können, wo sie sich mit der Zeit zu dicken Wurzelzöpfen auswachsen, welche die Röhren verstopfen; auch Würmer bohren sich durch den Letten und machen die Verbindung undicht.

Statt Letten verwendet man daher auch Zement zum Ausstreichen der Fugen über den Teerstricken; dadurch verliert jedoch die Verbindung die Geschmeidigkeit gegenüber Bodenbewegungen, ausserdem ist Gefahr vorhanden, dass durch das vielen Zementen eigene Treiben ein Zersprengen der Muffen herbeigeführt wird. Es empfiehlt sich daher, das Ausstreichen der Fuge durch Letten zu bewirken, darüber aber dann einen kräftigen

Zementwulst zum Schutze gegen äussere Angriffe auf dem ganzen Rohrumfang zu legen.

In neuerer Zeit wird häufig die Fuge mit Asphalt gedichtet, der am Thonrohr besser als Zement haftet und ausserdem auch die Verbindung geschmeidig macht; dabei wird die Fuge auch zuvor bis auf $^1/_3$ ihrer Höhe mit Teerstricken ausgefüllt und verstemmt. Der Dichtungsasphalt besteht aus 1 Teil Teer und 1 Teil Asphaltmastix. Der Asphalt wird bis zur Dünnflüssigkeit geschmolzen, wobei fortwährend umgerührt werden muss, um ein Absetzen der schweren Bestandteile, sowie das Anbrennen zu verhindern. Zum Einguss des Asphaltes wird die Muffenfuge mit einem Giessringe umgeben; beim Vergiessen müssen die Fugen vollständig ausgefüllt werden. Die Kosten der Asphaltdichtung sind annähernd die gleichen, wie für die Zementdichtung; die bisherigen Erfahrungen sind der Asphaltdichtung günstig.

Die Thonröhnen (Fig. 113) werden in Stücken von 1,0 m Baulänge hergestellt und in folgend skizzierten Formstücken:



Fig. 113.

Übergangsrohr. Doppelmuffe. Überschieber.



Fig. 113a.



Fig. 113b.



Fig. 113c.

Abzweigröhren.

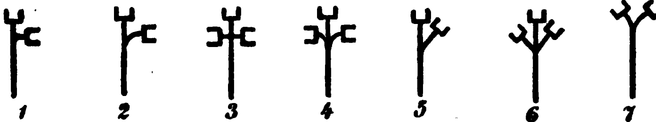


Fig. 113d.

Bogenröhren.

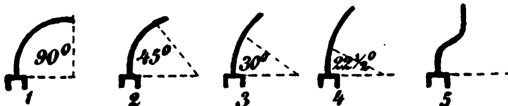


Fig. 113e.

Gelochte Röhre. **Geschlitzte Röhre.** **Röhre mit Reinigungsöffnung.**



Fig. 113f.



Fig. 113g.



Fig. 113h.

Nachstehende Preisliste ist dem Kataloge der deutschen Thonröhrenfabrik in Münsterberg entnommen.

Der Preis der gelochten oder geschlitzten Röhren beträgt das $1^1/_3$ fache eines geraden Normalrohres von gleicher Lichtweite; der Preis einer Doppelmuffe ist gleich dem eines Normalrohres von 1,0 m Länge und der eines Überschiebers gleich $^1/_3$ des Preises eines solchen Rohres; Röhren mit Reinigungsöffnung kosten dasselbe, wie ein Normalrohr von 1,0 m Baulänge.

Tabelle XI.

Preisliste der geraden Normalröhren und der Abzweigröhren.

Lichtweite	Wandstärke	Gerade Normalröhren Gewicht für 1,0 m Baulänge	Gerade Normalröhren Preis für 1,0 m Baulänge	Abzweigröhren einfach Figur Preis das Stück	Abzweigröhren doppelt Figur Preis das Stück
mm	mm	k	Mk.	Mk.	Mk.
50	12	7,85	0,75	1,00	1,50
75	13	10,75	1,00	1,35	2,00
100	14	13,00	1,30	1,75	2,60
130	16	19	1,75	2,35	3,50
150	17	25,40	2,00	2,65	4,00
175	19	28,00	2,60	3,50	5,20
200	19	33,00	3,00	4,00	6,00
225	20	41,00	3,50	4,70	7,00
250	22	48,0	4,00	5,50	8,00
275	23	55,5	5,00	6,70	10,00
300	25	65,00	6,00	8,00	12,00
350	28	86,00	8,00	10,70	16,00
400	30	102,0	9,50	12,70	19,00
450	34	129,0	12,0	16,0	24,0
500	36	140,0	13,50	18,0	27,0
550	38	170,0	18,0	24,0	36,0
600	40	205,0	24,0	32,0	48,0
650	45	235,0	27,5	36,70	55,00
700	52	280,0	32,50	43,5	65,0
800	57	335,0	36,00	48,0	72,0

Tabelle XIa.

Preisliste der Bogenröhren.

Lichtweite in Millimetern	50	75	100	130	150
Preis für 1 Stück Fig. 113e (1, 2, 3, 4)	0,70	0,80	1,00	1,30	2,00
„ „ „ „ „ (5) . .	1,15	1,50	1,95	2,65	3,00

Für grössere Lichtweiten von 150—400 mm entspricht der Preis dem eines geraden Rohres von 1,0 m Baulänge und bis 800 mm Lichtweite dem $1^1/_2$ fachen Preise eines solchen Rohres.

Es werden auch Thonröhren von eiförmigem und elliptischem Querschnitte in den Massen 200/300, 259/375, 300/450, 350/525, 400/600, 500/750 und 600/900 mm hergestellt, die sich jedoch im allgemeinen weniger für Wasserleitungszwecke eignen, als für Entwässerungen. Ihre Wandstärke steigt von 23 bis 45 mm, ihr Gewicht von 50 bis 320 k das laufende Meter und der Preis von 5,0 Mk. bis 40,0 Mk. für das laufende Meter.

Die hier angegebenen Preise sind selbstverständlich zeitlichen Schwankungen unterworfen, insbesondere ermässigen sich dieselben bei Bezug von grösseren Mengen.

Folgende Tabelle XII enthält den Verbrauch an Teerstricken, Letten, Zement und Asphalt zur Dichtung der Muffenfuge und Bildung eines Letten- oder Zementwulstes um die Fuge, sowie einschliesslich des während der Arbeit sich ergebenden Materialverlustes.

Tabelle XII.

Lichtweite in mm	100	125	150	175	200	250	300	350	400
Teerstricke . .	0,12	0,18	0,23	0,26	0,30	0,37	0,44	0,52	0,60
Letten	5,0	7,5	9,5	11,5	12,5	15,5	19,0	22,0	25,0
Zement . . .	3,0	4,5	5,7	6,6	7,5	9,3	11,4	13,2	15,0
Asphalt . . .	0,60	0,75	0,9	1,05	1,15	1,50	2,00	2,60	3,60

NB. Für Asphaltdichtung ist eine Wulstverkleidung nicht nötig, dafür Feuerung.

Thonröhren sollen mit Rücksicht auf Stösse und Erschütterungen, denen die Bodenoberfläche ausgesetzt ist, mindestens

1,0 m, und mit Rücksicht auf die Frosteinwirkung mindestens 1,20 m Bodenüberdeckung erhalten; die geringste Breite der Rohrgräben ist 0,65 m. Die Kosten für Herstellung der Rohrgräben sind je nach deren Tiefe, Bodenbeschaffenheit und den örtlichen Lohnverhältnissen ausserordentlich verschieden.

Die Kosten für das Rohrlegen selbst, Arbeitslohn und Werkzeuge sind auch örtlich verschieden und betragen durchschnittlich nach Tabelle XIII:

Lichtweite in mm	100	125	150	175	200	250	300	350	400
Rohrlegekosten f. d. lauf. Meter Pfennig . .	6	8	10	12	15	17	20	25	30

Zementröhren.

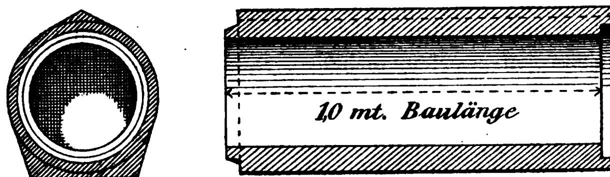


Fig. 114.

Die Zementröhren werden in obiger Form mit 1,0 m Baulänge, sowie mit Falz und Nute zur Verbindung der Stücke hergestellt; die Stossfugen werden mit Zementmörtel ausgefüllt und nach dem Zusammenfügen zweier Röhren innen und aussen mit Zementmörtel verstrichen. Die Verbindung erfordert wenig Dichtungsmaterial, das Verlegen der Röhren muss aber sehr sorgfältig geschehen, die Längenachse der einen Röhre muss ziemlich genau in die Verlängerung der anstossenden Röhrenachse fallen, wenn eine genügende Dichtungsfuge auf dem ganzen Rohrumfange sich ergeben soll. Eine geringe Verschiebung genügt, um die dichte Verbindung fraglich zu machen.

Folgende Tabelle XIV enthält die wichtigsten Angaben über die Zementröhren.

Tabelle XIV.

Lichtweite mm	Wandstärke mm	Gewicht des laufenden Meters k	Eine Ladung von 10000 k enthält Stück	Preis des laufenden Meters Mk.	Lichtweite mm	Wandstärke mm	Gewicht des laufenden Meters k	Eine Ladung von 10000 k enthält Stück	Preis der laufenden Meters Mk.
75	20	18	555	0.85	300	42	130	77	3.30
100	24	22	455	1.05	350	42	150	67	4.00
120	24	26	385	1.20	400	44	200	50	4.85
150	26	36	277	1.40	450	46	230	44	5.60
175	30	48	209	1.65	500	52	280	36	6.40
200	30	58	173	1.95	600	58	386	26	8.50
225	35	74	135	2.30	800	70	600	16	14.25
250	38	93	108	2.65	1000	80	850	12	20.50

NB. Bezüglich der Preisschwankungen gilt auch hier, was bei den Thonröhren erwähnt wurde.

Zementröhren werden ebenfalls in eiförmigem Querschnitt hergestellt in Lichtweiten von 200/300 bis 1000/1500 mm, im Preise von 2 Mk. 75 Pfg. bis 28 Mk. 50 Pfg. der laufende Meter.

Die Monierzementröhren bestehen ebenfalls aus Zementbeton, in welchen aber noch ein Gewebe von Eisendraht eingelagert ist; dies Gewebe hat den Zweck, die Zug- und Druckspannung zu übernehmen, während der umhüllende Beton das Ausknicken der in Anspruch genommenen Eisenstäbe verhindert, beziehungsweise dieselben zu einem System verbindet, und den wasserdichten Abschluss der Röhrenwand herstellt. Das Gewicht der gewöhnlichen Zementröhren ist 2 bis $2^1/_2$ mal so gross, als das der Monierröhren. Bis zu 300 mm Lichtweite werden die Monierröhren auch mit Muffen hergestellt. Die Röhren ohne Muffen werden auf Betonunterlagen in Zementmörtel verlegt, unmittelbar unter der Stossfuge und um diese durch ein umgelegtes Monierband oder einfach mit Zementmörtel verstrichen und gedichtet.

Monierröhren sind nun zwar gegen Druck und Zug widerstandsfähiger, als die drahtlosen Zementröhren, sie werden wegen ihrer geringeren Wandstärke und wegen ihres Eisengehaltes durch

saure Bodenwasser von aussen und durch Sandablagerung von innen aber schneller abgenützt, als jene.

Der Verbrauch an Dichtungsmaterial verursacht für Zementröhren etwa nur die Hälfte der Kosten, wie für Thonröhren, und dasselbe ist der Fall bezüglich der Rohrlegekosten ohne Erdarbeit.

Gewichte und Preise für Monierröhren sind in folgender Tabelle enthalten.

Tabelle XV.

Preisliste der Monierröhren.

Lichtweite mm	Wandstärke mm	Gewicht des laufenden Meters k	Eine Ladung von 10 000 k enthält Stück	Preis des laufenden Meters Mk.	Lichtweite mm	Wandstärke mm	Gewicht des laufenden Meters k	Eine Ladung von 10 000 k enthält Stück	Preis des laufenden Meters Mk.
200 } m. Muffen	20	33	303	2.50	500	28	118	85	6.50
250 } m. Muffen	20	47	212	2.70	600	32	151	66	8.50
300 } m. Muffen	22	59	170	3.50	700	35	200	50	11.—
350	24	66	151	4.30	800	—	—	—	13.—
400	26	89	112	5.—	900	—	—	—	15.50
450	26	96	104	5.50	1000	—	—	—	18.—

Der Anschaffungspreis ist demnach für die Monierröhren ziemlich derselbe, wie für die drahtlosen Zementröhren; erspart wird bei den Monierröhren nur durch deren geringeres Gewicht an den Transportkosten.

Für Zementröhren werden ebenfalls auch gerade und schräge Abzweigröhren und Bogenröhren verschiedener Winkel hergestellt, sowie auch gelochte Zementröhren zu erhalten sind.

Schlüpfbare Kanäle.

Die Breite schlüpfbarer Kanäle muss wenigstens 0,60 m, die Höhe wenigstens 0,90 m betragen, und da die Kanäle erst mit 1,60 m Höhe begehbar sind, so liegt der Spielraum in der Höhe für die schlüpfbaren Kanäle zwischen 0,90 bis 1,60 m. Je nach den verfügbaren Baumaterialien (Bruch- oder Backsteine und

Beton) erhält man verschiedene Querschnittsformen, wovon durch Fig. 24 (S. 148) und 25 (S. 150) schon verschiedene für Sickerkanäle dargestellt sind. Ausserdem sind durch hier beigefügte Zeichnungen (Fig. 115 bis 117) noch Querschnitte schlüpfbarer Kanäle ersichtlich.

Leitungskanäle.

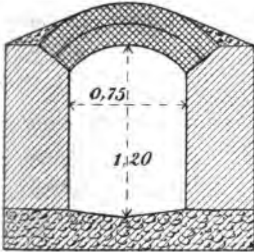


Fig. 115.

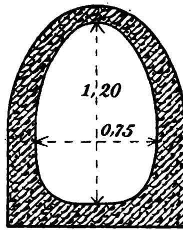


Fig. 116.
(Massstab 1:50.)

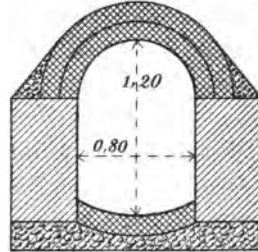


Fig. 117.

Das Mauerwerk der Kanäle ist mittels hydraulischen Mörtels herzustellen; die Sohle und die Seitenwände bis über die Füllungshöhe erhalten einen 1,5 bis 2 cm starken, glatten Verputz aus Zementmörtel, über der Füllungslinie wird das Mauerwerk mit Zementmörtel verfugt. Die äusseren Mauerflächen erhalten rauhen Verputz aus hydraulischem Mörtel. Zum Bruchsteinmauerwerk sind nur lagerhafte, an der Stirnfläche sauber bearbeitete Bruchsteine zu verwenden; für das Backsteinmauerwerk nur kalkfreie, hartgebrannte, wohlgeformte und scharfkantige Steine. Die Sohle wird bei Bruchsteinmauerwerk für die Seitenmauern am besten durch eine Betonplatte von 0,15 bis 0,20 m Stärke hergestellt; auch den aus Backsteinen gebildeten Sohlen wird bei nassem Baugrunde noch eine Betonplatte untergelegt.

Die Betonkanäle kann man entweder stückweise ausserhalb der Baugrube fertigstellen und dann auf der Grabensohle zusammensetzen, verbinden und dichten, oder man stellt den Kanal auf der vorher eingelegten Betonplatte im Graben mittels aufgestellter Schablonen in Stampfbeton her. Betonkanäle in der

Baugrube hergestellt haben den Vorteil, dass darin keine Stossfugen vorkommen, die zu Undichtigkeiten leicht Veranlassung geben; dagegen ermöglicht die stückweise Herstellung ausserhalb des Grabens eine raschere und billigere Ausführung der ganzen Kanalstrecke.

Gegenüber gemauerten Kanälen haben Betonkanäle den Vorzug, dass sie in jeder einer vorliegenden Beanspruchung entsprechenden Wandstärke hergestellt werden können, während man z. B. bei Backsteinmauerwerk die Mauerstärke immer nur um je einen halben Stein abstufen kann.

Der Beton für die Kanäle besteht im allgemeinen aus einer Mischung von 1 Raumteil Portlandzement, 2 Raumteilen Flusssand und 5 Raumteilen mittelgrosser Kies; je geringer die Wandstärke, desto kleiner müssen die einzelnen Kiesstücke sein, und die Menge des zum Beton verwendeten Zementmörtels muss um wenigstens 20 % grösser sein, als die vom Kiese umschlossenen Hohlräume. Füllt man ein Gefäss mit dem Kiese, giesst dann Wasser hinzu, bis dies an der Oberfläche des Kieses erscheint, so gibt die zugegossene Wassermenge das Mass der Hohlräume im Kiese. Bezeichnet Q die Kiesmenge in Litern, q die Hohlräume derselben in Litern, M die Mörtelmenge, Z die Zement-, S die Sandmenge, und ist ferner $S = n \cdot Z$, so ergibt sich $1{,}20 \cdot q = M = Z \cdot (n + 1)$; setzt man ferner $q = m \cdot Q$, so ist $1{,}20 \cdot m \cdot Q = (n + 1)\, Z$ und für $Z = 1{,}0$ ist $Q = \frac{(n + 1)}{1{,}20 \cdot m}$.

Im allgemeinen ist $m = 0{,}35$, und man erhält daher

$$\text{für } n = 1 \quad \text{den Wert von } Q = \frac{2}{0{,}42} = 4{,}75$$

$$\text{„ } n = 1{,}5 \quad \text{„ „ „ } Q = \frac{2{,}5}{0{,}42} = 6{,}00$$

$$\text{„ } n = 2{,}0 \quad \text{„ „ „ } Q = \frac{3{,}0}{0{,}42} = 7{,}00.$$

Indem man auf diese Art die Mischungsverhältnisse bestimmt, erhält man immer einen mit Mörtel genügend gesättigten Beton, dessen Güte durch die von n bestimmte Mörtelmischung beliebig gehoben werden kann.

Scharfe Krümmungen erhalten bei gemauerten und Betonkanälen mindestens einen Krümmungshalbmesser von 5,0 m. Die Einmündung kleiner Nebenkanäle in grössere Hauptkanäle geschieht in der Weise, dass die Sohle der Einmündung etwa 0,15 bis 0,20 m höher liegt, als die Sohle des Hauptkanales und das Wasser aus dem Nebenkanale möglichst in der Stromrichtung des Hauptkanales eintritt. Über der Vereinigungsstelle wird gewöhnlich ein Sichtschacht errichtet; wenn man die Sohle der Sichtschachte gegen die Sohle des Hauptkanales vertieft, so erhält man damit einen kleinen Sandfang.

Betonkanäle müssen ebenfalls einen glatten Zementverputz von 10 mm Stärke auf der Sohle und den Innenflächen der Seitenwände über Füllhöhe erhalten, weil Beton für sich nicht wasserdicht ist. Liegt der Kanal im Grundwasser, so müssen die ganzen Innenflächen, auch die Decke, wasserdicht verputzt werden, um ein Eindringen des Grundwassers zu verhindern.

Sehr wichtig ist eine gute Beschaffenheit des Untergrundes, in welchen die Kanäle gebettet werden sollen, besonders wenn die Kanäle sich an Berghängen hinziehen, wo der Untergrund zur nassen Jahreszeit oft sogar in Bewegung gerät; trockener, tragfähiger Boden sichert den Bestand der Kanäle auf lange Dauer. Die zulässige Belastung ist für lockeren Ackerboden 0,4 k, für lehmigen Boden 0,8 k, für Sand und Kies sowie steinigen Lehm 1 bis 2 k, für Felsen bis 10 k auf 1 qcm. Bei grösseren Belastungen ist der Boden durch Steinwurf, Pfahlrost, oder eine genügend breite Betonplatte zu befestigen.

Zwischen abgespriesste Grabenwände eingebaute Kanäle dürfen erst entsteift werden, wenn sie eingewölbt sind und das Mauerwerk schon gut abgebunden hat, weil die Seitenmauern bei der Entsteifung den seitlichen Erddruck häufig ruckweise erhalten; aus demselben Grunde soll das Gewölbe vor der Entsteifung etwas belastet werden.

Müssen die Kanäle im Stollenbau angelegt werden, dann sind Sohle, Wangen und Decken gewölbt anzulegen; es eignet sich deshalb für Stollenkanäle hauptsächlich der Kreisquerschnitt für schlüpfbare Kanäle.

Begehbare Kanäle.

Das Lichtmass der begehbaren Kanäle muss mindestens 0,65 m in der Breite und 1,60 m in der Höhe betragen; im übrigen gilt für diese alles, was oben bei den schlüpfbaren Kanälen erwähnt wurde. Eine besondere Eigentümlichkeit der begehbaren Kanäle besteht darin, dass häufig für den Wasserlauf in der Kanalsohle ein besonderes Gerinne vorgesehen ist, so dass als Gehweg, einseitig oder beiderseitig, ein über das Gerinne sich erhebender Sohlenstreifen verbleibt. Es wird dadurch die Begehung ermöglicht, ohne vorher den Wasserlauf abstellen zu müssen, oder das Wasser durch Beschreiten zu verunreinigen. In den Fig. 118 bis 121 sind solche Kanalquerschnitte vorgeführt.

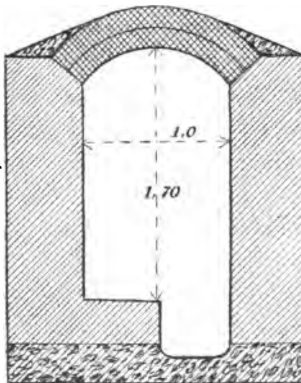


Fig. 118.

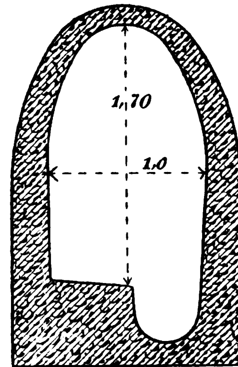


Fig. 119.

(Massstab 1 : 50.)

In der Wahl der Lichtmasse der Kanäle ist man nicht ganz unbeschränkt; liegen die Kanäle im Geländeeinschnitt, so erwachsen mit zunehmender Breite der Baugruben um so höhere Kosten für Erdarbeiten, je tiefer die Baugrube ist, weshalb man in solchen Fällen die Kanalbreite möglichst klein wählt und dem Durchflussquerschnitt entsprechend die Höhe vergrössert. Liegt der Kanal im Auftrage des Geländes, so ist es zweckmässig, die Kanalbreite möglichst gross zu machen, um einen nicht

zu hohen Auftrag für Überdeckung des Kanales zu erhalten. Die Höhe des Kanales ist ferner öfter beschränkt bei Kreuzungen, d. h. Unterfahrungen von andern, höher liegenden Kanälen,

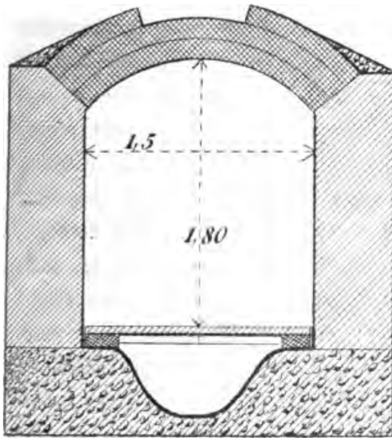


Fig. 120.

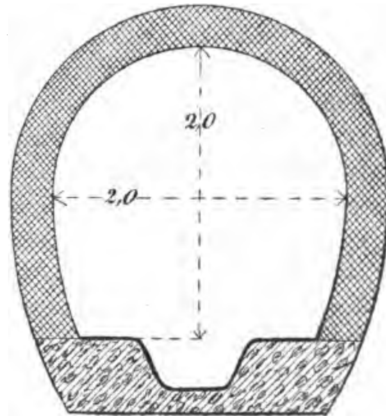


Fig. 121.

(Massstab 1 : 50.)

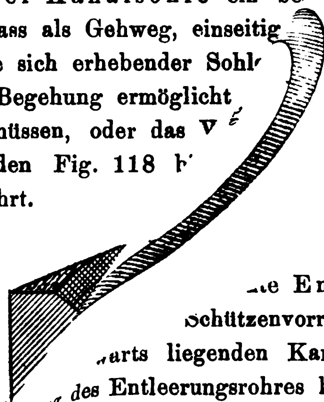
oder von Strassen und Eisenbahnen, wo eine bestimmte Scheitelhöhe des Kanales nicht überschritten werden darf; man erhält in solchen Fällen manchmal Querschnitte von gedrückter Form. Bei den Übergängen von einer Querschnittsform in eine andere ist darauf zu achten, dass der Wasserspiegel, d. h. die Gefälllinie noch in den lichten Querschnitt des niedrigeren Querschnittes fällt; würde dieser unter die Gefälllinie fallen, so würde dieser Querschnitt unter Wasserdruck stehen und die unter Druck stehende Strecke wäre eine Dückerstrecke.

Die Sichtschächte und Lüftungen.

Die Vorrichtungen für Lüftung werden gewöhnlich mit den Schächten verbunden, und nur an Stellen, wo kein Schacht anzulegen ist, wird für die etwa nötige Luftbewegung nach aussen ein besonderes Lüftungsrohr vom Kanalscheitel über die Bodenoberfläche geführt. Die Schächte erhalten von der Sohle bis zum Kanalscheitel oder bis mindestens 1,20 m Höhe eine Lichtweite

Begehbare Kanäle.

Das Lichtmass der begehbaren K... 5 m
0,65 m in der Breite und 1,60 m in ... der
übrigen gilt für diese alles, was ... wenn
Kanälen erwähnt wurde. Eine b... le bis
begehbaren Kanäle besteht darin, ... mauerte
in der Kanalsohle ein be... nden in
so dass als Gehweg, einseitig ... reite des
rinne sich erhebender Sohl... ohle in
die Begehung ermöglicht ... it durch-
zu müssen, oder das V... er jedoch,
In den Fig. 118 b... es zweck-
geführt. ... iefen, und



... Vergrösserung ...en die Ablagerung der ... geeigneten Stellen der Kanal- ...e Entleerungs- und Überlaufs- ...schützenvorrichtung zur Sperrung der vom ...warts liegenden Kanalstrecke. Der Verschluss der ... des Entleerungsrohres kann ebenfalls durch eine Schütze, ... oder einen Schieber bewirkt werden. Das Entleerungs- ... muss in geschlossener Leitung auf einige Entfernung vom Kanale abgeleitet werden, damit in der Nähe des Kanales der Boden nicht ausgewaschen werden kann; der Überlauf mündet entweder innerhalb oder ausserhalb des Schachtes in die Entleerung. Die Einsteigöffnung der Schächte wird durch eine Abdeckung geschlossen; meistens besteht dieselbe aus gusseisernen Deckeln in gusseisernen Rahmen. Die gusseisernen Abdeckungen sind sehr dauerhaft, die Deckel sind leicht verschliessbar einzurichten und die Öffnung der Deckel ist verhältnismässig für die Bediensteten nicht schwierig, auch können die eisernen Abdeckungen, je nachdem sie für Fuhrwerke zugänglich sind, in jeder beliebigen Stärke und Schwere bezogen werden.

Ebenfalls dauerhaft ist die Abdeckung der Öffnungen mittels wetterfester Steinplatten in Steinrahmen, die Abhebung dieser Steinplatten behufs Öffnung des Schachteinganges ist jedoch in der Regel für nur eine Person und ohne Hebezeug nicht möglich.

Abdeckung empfiehlt sich daher nur bei solchen
eine öftere Besichtigung voraussichtlich nicht nötig
e unbefugte Öffnung der Abdeckungen durch Un-
ichst zu erschweren, besonders in abgelegenem
alde, legt man auch die Abdeckungen mit ihrer
bis 0,40 m unter die Bodenoberfläche, so
rdeckung erhalten und äusserlich nicht be-
, wo die Abdeckungen liegen, müssen in
e Punkte genau eingemessen und diese
von, sowie leicht findbar sein. Holz-
ngen sind verwerflich, denn sie ver-
dann, wenn sie nicht sorgfältig
sung zur Verunreinigung des Leitungs-

ttung wird manchmal dadurch erzielt, dass man die
achtdeckel an einzelnen Stellen durchbricht und unter dem Deckel ein Schutzblech anbringt, um den durch die Luftlöcher fallenden Schmutz aufzufangen. Besser ist jedoch die seitliche Ableitung der Luft unter dem völlig geschlossenen Deckel in einen anstossenden kleinen Luftschacht, der durch eine durchbrochene Abdeckung mit der äusseren Luft in Verbindung ist. Die Sohle dieses kleinen Luftschachtes liegt etwas tiefer als der seitliche Verbindungskanal mit dem Einsteigschachte, so dass einfallender Schmutz hier abgelagert wird.

Die Schächte werden entweder aus Backsteinen, der runde Querschnitt am besten aus sogenannten Brunnensteinen aufgemauert oder mittels Stampfbeton hergestellt. Die Innenflächen erhalten bis über Füllungshöhe glatten Zementverputz, darüber hinaus wird das Backsteinmauerwerk mit Zementmörtel verfugt; die Aussenflächen erhalten rauhen Verputz mit hydraulischem Mörtel. Steigeisen im Innern des Schachtes erleichtern die Zugänglichkeit.

Die Lüftungen, die unmittelbar mit den Kanälen in Verbindung gebracht werden, bestehen aus etwa 100 mm weiten Thonröhren, die bis 1,0 m über die Bodenoberfläche reichen und hier durch eine Haube in der Weise abgedeckt sind, dass, unbeschadet

von 1,0 m, welche sich gegen die Einsteigöffnung bis auf 0,65 m verjüngt. Über dem Kanalscheitel bis zur Einsteigöffnung ist der Schachtquerschnitt gewöhnlich rund; er bleibt rund, wenn die durch den Schacht gehenden Kanäle nur Röhrenkanäle bis 400 mm D. sind, für grössere Kanäle, besonders also gemauerte und Betonkanäle, geht der Schachtquerschnitt von dem runden in den quadratischen oder rechteckigen über, je nach der Breite des Kanalquerschnittes. Bei reinem Wasser wird die Sohle in gleicher Höhe mit der Kanalsohle, manchmal auch mit durchlaufendem Kanalquerschnitt hergestellt; führt das Wasser jedoch, wenn auch nur zeitweise, Sinkstoffe, wie Sand, so ist es zweckmässig, die Schachtsohle gegen die Kanalsohle zu vertiefen, und die Geschwindigkeit des Wassers im Schachte durch Vergrösserung des Querschnittes zu verlangsamen, wodurch die Ablagerung der Sinkstoffe begünstigt wird. An geeigneten Stellen der Kanalstrecke erhalten die Schächte Entleerungs- und Überlaufsrohr, sowie eine Schützenvorrichtung zur Sperrung der vom Schachte abwärts liegenden Kanalstrecke. Der Verschluss der Mündung des Entleerungsrohres kann ebenfalls durch eine Schütze, Klappe oder einen Schieber bewirkt werden. Das Entleerungswasser muss in geschlossener Leitung auf einige Entfernung vom Kanale abgeleitet werden, damit in der Nähe des Kanales der Boden nicht ausgewaschen werden kann; der Überlauf mündet entweder innerhalb oder ausserhalb des Schachtes in die Entleerung. Die Einsteigöffnung der Schächte wird durch eine Abdeckung geschlossen; meistens besteht dieselbe aus gusseisernen Deckeln in gusseisernen Rahmen. Die gusseisernen Abdeckungen sind sehr dauerhaft, die Deckel sind leicht verschliessbar einzurichten und die Öffnung der Deckel ist verhältnismässig für die Bediensteten nicht schwierig, auch können die eisernen Abdeckungen, je nachdem sie für Fuhrwerke zugänglich sind, in jeder beliebigen Stärke und Schwere bezogen werden.

Ebenfalls dauerhaft ist die Abdeckung der Öffnungen mittels wetterfester Steinplatten in Steinrahmen, die Abhebung dieser Steinplatten behufs Öffnung des Schachteinganges ist jedoch in der Regel für nur eine Person und ohne Hebezeug nicht möglich.

Diese Art Abdeckung empfiehlt sich daher nur bei solchen Schächten, wo eine öftere Besichtigung voraussichtlich nicht nötig wird. Um eine unbefugte Öffnung der Abdeckungen durch Unberechtigte möglichst zu erschweren, besonders in abgelegenem Gelände, wie im Walde, legt man auch die Abdeckungen mit ihrer Oberfläche etwa 0,30 bis 0,40 m unter die Bodenoberfläche, so dass sie eine Bodenüberdeckung erhalten und äusserlich nicht bemerkbar sind; die Stellen, wo die Abdeckungen liegen, müssen in diesem Falle auf bestimmte Punkte genau eingemessen und diese Punkte nicht zu entfernt davon, sowie leicht findbar sein. Holzabdeckungen in Steinfassungen sind verwerflich, denn sie verfallen sehr rasch und geben dann, wenn sie nicht sorgfältig unterhalten werden, Veranlassung zur Verunreinigung des Leitungswassers.

Die Lüftung wird manchmal dadurch erzielt, dass man die Schachtdeckel an einzelnen Stellen durchbricht und unter dem Deckel ein Schutzblech anbringt, um den durch die Luftlöcher fallenden Schmutz aufzufangen. Besser ist jedoch die seitliche Ableitung der Luft unter dem völlig geschlossenen Deckel in einen anstossenden kleinen Luftschacht, der durch eine durchbrochene Abdeckung mit der äusseren Luft in Verbindung ist. Die Sohle dieses kleinen Luftschachtes liegt etwas tiefer als der seitliche Verbindungskanal mit dem Einsteigschachte, so dass einfallender Schmutz hier abgelagert wird.

Die Schächte werden entweder aus Backsteinen, der runde Querschnitt am besten aus sogenannten Brunnensteinen aufgemauert oder mittels Stampfbeton hergestellt. Die Innenflächen erhalten bis über Füllungshöhe glatten Zementverputz, darüber hinaus wird das Backsteinmauerwerk mit Zementmörtel verfugt; die Aussenflächen erhalten rauhen Verputz mit hydraulischem Mörtel. Steigeisen im Innern des Schachtes erleichtern die Zugänglichkeit.

Die Lüftungen, die unmittelbar mit den Kanälen in Verbindung gebracht werden, bestehen aus etwa 100 mm weiten Thonröhren, die bis 1,0 m über die Bodenoberfläche reichen und hier durch eine Haube in der Weise abgedeckt sind, dass, unbeschadet

der Luftbewegung, von aussen keine Unreinigkeiten, besonders auch keine Tiere, wie Insekten, Mäuse, Frösche u. dergl. in den Kanal gelangen können. Von den Thonrohrfabrikanten werden für diesen Zweck besonders geformte Aufsatzröhren geliefert.

In Fig. 122 (Tafel XI) ist ein Sichtschacht abgebildet, der über Thonrohrleitungen errichtet und mit seitlicher Entlüftung versehen ist; die Sohle des Schachtes liegt in gleicher Höhe mit derjenigen des Kanales, und der halbe Rohrquerschnitt ist in der Schachtsohle durchgeführt.

Der Schacht Fig. 123 (Tafel XI) ist über einem gemauerten Kanale errichtet; die Schachtsohle liegt tiefer als die Kanalsohle, und die Lüftung steht nicht in Verbindung mit dem Schachte, sondern liegt unmittelbar über dem Kanalscheitel. Der Schacht hat eine Entleerung, welche durch eine Klappe mit Kettenzug geöffnet und geschlossen werden kann und womit der Überlauf in Verbindung steht. Die thalwärts liegende Kanalmündung im Schachte ist durch eine von Hand einzubringende Holzschütze, welche in einem von zwei Winkeleisen gebildeten Falze liegt, geschlossen. Diese Holzschütze genügt hier, da diese nur eingesetzt wird, wenn der Leerlauf geöffnet ist, also ein höherer Wasserdruck auf die Schütze nicht möglich und ein vollkommen dichter Abschluss des Wassers durch die Schütze auch nicht erforderlich ist; wo es nötig ist, kann dies auf die kurze Dauer des Abschlusses leicht durch Verstreichen der Fugen mit Letten erreicht werden. Auch ist die Schütze mit zwei eisernen, keilförmigen Riegeln versehen, durch deren Eintreiben die Schütze fest auf die Kanalmauer gepresst wird.

Nachstehend führe ich mehrere bemerkenswerte Beispiele ausgeführter Kanäle an:

Der Kanal, welcher das Wasser der D'huis nach Paris leitet, hat eiförmigen Querschnitt von 1,40 m Breite und 1,70 m Höhe, sowie eine Länge von 130 km; er ist aus Bruchsteinen in hydraulischem Mörtel gemauert. Die Thäler werden durch Heberleitungen übersetzt. Durchschnittlich hat das Wasser in dem Kanale eine Geschwindigkeit von 0,60 m, erreicht in 61 Stunden

den Sammelbehälter von Menilmontant, wobei es seine Temperatur an der Quelle von 9 bis 10° C. auf 11 bis 12° C erhöht.

Der Kloakenkanal von Paris unter dem Boulevard Sebastopol hat eine Breite von 5,0 und eine Höhe von 4,0 m; in der Mitte der Sohle befindet sich das Gerinne für die Schmutzwasser, das 1,5 m breit und 2,0 m tief ist. An den Kanten des Gerinnes und der beiderseitigen Gehwege laufen Eisenbahnschienen, auf welchen die Schmutzwagen rollen. Die Gehwege sind gepflastert und tragen auf gusseisernen Säulen die Hauptröhren der Wasserleitung. Die kleineren Rohrleitungen sind mittels Rohrschellen teils am Scheitel der Gewölbe aufgehängt, teils über Mauerstützen an den Seitenwänden verlegt. Das Wasser, welches im Sammelbehälter eine Temperatur von 10 bis 11° hat, wird im Sommer in den Röhren, welche im Kloakenkanale frei liegen, auf 16 bis 17° C. erwärmt, was eine beträchtliche Verschlechterung des Wassers für den Genuss bedeutet.

Die Wasserleitung aus dem Thirlmeresee nach Manchester besteht aus gemauerten Kanälen von 58 km Länge, 47 Tunnels mit zusammen 23 km und aus 73 km gusseisernen Rohrleitungen; die Gesamtlänge ist daher 154 km. Zahlreiche Thäler übersetzt der Kanal mittels Brücken (sogen. Aquädukte), und die Eisenbahn wird von ihm 13 mal gekreuzt.

Ingenieur Giebeler berichtet im „Journal für Gasbeleuchtung" Jahrg. 1896 über aufgefundene Spuren alter Wasserleitungen; ich erwähne davon folgendes:

In Transkaukasien wurde eine 70 km lange alte Wasserleitung aufgefunden, welche in der Hauptsache aus künstlich in den Fels ober- und unterirdisch gehauenen Kanälen, offenen Gräben und grossen Holzleitungen besteht. Nach den Inschriften, welche auf der ganzen Ausdehnung der Leitung auf Steinen und Felsen angebracht sind, soll die Leitung von einem Könige Menuas etwa 800 Jahre v. Chr. erbaut worden sein; sie ist also jetzt 2700 Jahre alt und liefert noch heutigen Tages der Stadt Van das Berieselungswasser für ihre Gärten und Ländereien.

Über die antike Wasserleitung der Stadt Samus in Kleinasien gibt Herodot eine Beschreibung des Stollens, durch den

das Wasser der auf dem Berge Castro befindlichen, ehemals Leukothea genannten Quelle, der Stadt zugeführt wurde; er war durch einen 150 Klafter hohen Berg gegraben worden. Die Länge dieses Tunnels war 1000 m, die Höhe und Breite desselben je 2,5 m. In diesem Tunnel war ein Graben angelegt, in welchem das Quellwasser floss, das mittels Röhren in die am Fusse des Berges gelegene Stadt Samus geleitet wurde. Die Wasserleitungsrohre, welche man noch jetzt vielfach in Samus antrifft, sind aus rotem Thon gefertigt mit einem Durchmesser von 150 bis 200 mm; ausserdem wurden auch Steinröhren verwendet.

Auch in Smyrna finden sich die Spuren einer alten Wasserleitung, die streckenweise in eine Mauer eingebaut war, welche durch grosse viereckige, in einander gefügte Steine, die röhrenförmig ausgehöhlt waren, gebildet wurde.

Auch die Wasserleitung von Ephesus, die aus Tempeltrümmern erbaut wurde, ist in ähnlicher Weise in eine dicke Mauer eingebaut, der Wasserleitungskanal hat an einzelnen Stellen 1,20 m Höhe und 0,60 m Breite.

Den altgriechischen Städten wurde das Wasser durch unterirdische Kanäle zugeführt, die, wie in Persien und Syrien, mit Luftschächten versehen waren. So weist die Leitung, welche vom Pentelischen Gebirge Athen einen Teil seines Wassers zuführte, 110 derartige Luftschächte auf, deren Durchmesser zwischen 1,25 bis 1,55 m schwankt, und deren Entfernung von einander 40 bis 50 m beträgt. Athen, das zur Zeit seiner Blüte 200000 Einwohner zählte, hatte sowohl ausgedehnte und zahlreiche Anlagen zur Versorgung mit Trinkwasser, als auch für Gebrauchswasser; im ganzen sollen 18 verschiedene Leitungen vorhanden gewesen sein. Eine davon war bestimmt, das Wasser aus dem Flusse Ilissos zu entnehmen und nach Athen zu führen; im Flussbette befindet sich ein Schacht von 1,30 m im Quadrat, welcher das Flusswasser aufnimmt und es an einen Kanal weiter giebt, welcher unter dem Flussbette in dem felsigen Untergrunde vorgetrieben ist. Der Kanal liegt etwa 2,0 bis 2,5 m unter dem Bette. In Abständen von 57 bis 65 m befinden sich Luftschächte; diese Luftschächte sind auf beiden

Seiten des Flussufers anzutreffen, woraus hervorgeht, dass die Leitung den Fluss gekreuzt hat. In der Ebene zwischen Athen und Piräus tritt der Kanal zu Tage.

Das moderne Athen wird durch eine alte Wasserleitung mit mit gutem Trinkwasser versorgt; im Jahre 1877 wurde diese Wasserleitung bis zum Quellengebiete aufwärts einer Reinigung unterworfen, bei welcher Gelegenheit auch die alten Luftschächte wieder freigelegt wurden. Der Durchmesser derselben beträgt 1,2 bis 1,5 m, die Tiefe schwankt zwischen 8 bis 10 m. Der Kanal hat eine Breite von 0,7 m und eine Höhe von 0,6 m und ist zur Dichtung mit Stuck verputzt. An den Stellen, wo der Felsen, in welchem der Kanal ausgearbeitet ist, klüftig ist, oder wo die Wasserleitung überhaupt nicht durch Felsen geht, ist der Kanal gemauert und mit Backsteinen überwölbt. Zwischen Chalandri und Herakli liegt die Wasserleitung an einzelnen Stellen so tief, dass die Luftschächte (eigentlich Sicht- und Lüftungsschächte) eine Höhe von 45 m haben. Alle Kanäle sind im Innern mit einem hydraulischen Mörtel verputzt.

Die Wasserleitung für Olympia bezog ihr Wasser aus den nördlichen Seitenthälern des Alpheios, ihren Abschluss bildete die sogenannte Exedra, die in einem Prunkbaue von 2 Stockwerken bestand. Der höher gelegene Teil bildete einen gegen die Altis geöffneten Halbkreisbau, der tiefere Teil war ein Wasserbecken, das durch flügelartige Vorsprünge umfasst war. Das Becken war 3,43 m breit und 22,0 m lang, mit einer Tiefe von 1,0 m; das Wasser floss aus marmornen Löwenköpfen in das Becken. Der Umfassungsbau des Beckens war mit 21 Marmorstatuen geschmückt; die Erbauung fällt in die Zeit um 160 n. Chr.

Die bedeutendste alte Wasserleitung für Konstantinopel ist der Aquädukt des Valens, der im Jahre 386 n. Chr. erbaut wurde; er ist mit 2 Stockwerken 22,70 m hoch, und seine Länge beträgt etwa 1170 m. Diese Wasserleitung ist heute noch notdürftig im Gange.

Eines der grossartigsten Bauwerke für Wasserleitung ist der Aquädukt des alten Karthago; diese Wasserleitung wurde

in einer Länge von 132 km von den Römern ausgeführt im zweiten Jahrhundert n. Chr. Im siebenten Jahrhundert wurde die Wasserleitung von den Mohammedanern zerstört. Noch heute ragen die Bruchstücke von Pfeilern an einzelnen Stellen über den Boden, und ein ziemlich erhaltenes Stück des Aquäduktes, das auf 14 Pfeilern ruht, sieht man in der Nähe von Tunis. Die Höhe des Aquäduktes betrug hier 8,0 m bei 4,5 m Pfeilerabstand und 4,0 m Breite der Pfeiler. An anderen Stellen beträgt seine Höhe über dem Boden mehr als 15 m, während er streckenweise entweder unmittelbar auf dem Boden liegt oder in denselben mehr oder weniger tief eingeschnitten ist. Da, wo der Aquädukt an dem Mellianafluss entlang geführt ist, liegt er am höchsten und ist er am wenigsten in Verfall geraten, denn in einer Ausdehnung von 40 km sieht man hier eine ununterbrochene Bogenreihe.

In dem folgenden Abschnitte über die Thalübersetzungen der Wasserleitungen, Überbrückungen und Heberleitungen, werden noch einige hervorragende Bauwerke des Altertums erwähnt werden; zuvor folgt hier noch eine kurze Notiz über den Wasserleitungstungstunnel von Chicago.

Für die Stadt Chicago wurde im Bette des Michigansees ein 2 engl. Meilen langer Tunnel vorgetrieben, um ganz reines Wasser, entfernt vom Ufer und aus der Tiefe dem See zu entnehmen. An den Endpunkten des Tunnels, am Ufer und im See wurden Röhren aus Gusseisen pneumatisch in den Seeboden, der hier aus einer Schicht harten, blauen Thones besteht, bis auf die Tunneltiefe getrieben, in dem See 73 engl. Fuss und am Ufer 77 Fuss unter dem Wasserspiegel; die Wassertiefe an der Entnahmestelle im See war 35 Fuss. Der Querdurchschnitt des Tunnels ist nahezu kreisförmig, 5 Fuss breit und 5 Fuss 2 Zoll hoch; er ist aus Backsteinen in Zementmörtel gemauert.

Die Thalübersetzungen mittels Überbrückungen, welche die Träger der Leitungskanäle sind, kommen hauptsächlich da noch zur Anwendung, wo es sich um die Überschreitung nicht sehr breiter, aber tiefer Thäler handelt; ob eine Kanalbrücke oder eine Heber- oder Dückerleitung vorteilhafter ist, kann immer nur

das Ergebnis einer alle örtlichen Verhältnisse berücksichtigenden Berechnung sein. Die gusseisernen Rohrleitungen, die für jeden vorkommenden Wasserdruck in genügender Stärke hergestellt werden können, gestatten meistens, selbst grosse Wassermengen mit nicht sehr hohen Kosten quer in der Thalsohle durchzuleiten; dabei ist die Unterhaltung einer im Boden verlegten Rohrleitung wesentlich einfacher und billiger als diejenigen der Kanalbrücken, auch ist das Wasser in den Bodenleitungen gegen die nachteiligen Einflüsse der Aussentemperatur mehr geschützt, als in den über den Brücken liegenden Kanälen. Doch können örtliche Verhältnisse vorliegen, welche eine Thalüberbrückung vorteilhaft erscheinen lassen; wenn nämlich das Thal nicht sehr breit ist, die Thalsohle aber sich wegen sumpfiger Beschaffenheit, oder wegen zeitweiser Wildwasser nicht zur Einlagerung von Rohrleitungen eignet. Unter diesen Umständen würden diese nämlich ständiger Gefahr des Undichtwerdens ausgesetzt sein. Wenn das Thal in einem Bogen überspannt werden kann und ausserdem felsige Abhänge des Thales eine sichere Gründung der Widerlager begünstigen, so ist in solchem Falle eine Überbrückung der Druckleitung vorzuziehen, besonders wenn es sich um die Überführung grösserer Wassermengen handelt. Rohrleitungen von geringer Lichtweite, etwa bis 300 mm können auch in schwierigem Thalgrunde noch ohne grosse Kosten und Gefahr sicher gebettet werden; jedenfalls sind die Kosten für solche Rohrleitungen gewöhnlich geringer als diejenigen eines Brückenbaues.

Die Durchquerung eines Thales mittels gusseiserner Heberleitung verursacht einen grössern Druckverlust als derjenige, welcher durch die Gefällleitung einer Kanalbrücke entsteht; der Unterschied ist jedoch, da es sich nur um nicht sehr weitgedehnte Thäler handeln kann, kein so beträchtlicher, dass dessen Aufwand bedenklich sein könnte.

Die Kanalbrücken werden, entsprechend den örtlichen Verhältnissen, aus Bruchsteinen mit sauber bearbeiteten und verfugten Sichtflächen, aus Backsteinmauerwerk, dessen Sichtflächen aus gut geformten und hartgebrannten, sowie verfugten Steinen bestehen, oder aus Beton, dessen Aussenflächen mit Backstein- oder Quader-

mauerwerk verkleidet sind, hergestellt. Eisenkonstruktionen für Kanalbrücken anzuwenden ist nicht empfehlenswert, weil durch den fortwährenden Temperaturwechsel die Eisenteile immer in Bewegung sind, sich ausdehnen oder zusammenziehen, wodurch der auf sie gelagerte Kanal rissig und undicht wird. Selbst die gemauerten Brücken sind in unsrem Klima den Einflüssen der Hitze und des Frostes unterworfen, so dass sie mit Rücksicht darauf sorgfältiger Unterhaltung bedürfen und besonders darauf geachtet werden muss, dass im Winter das Wasser im Kanale stets laufend bleibt.

Die Kanäle über den Brücken erhalten grosse Mauerstärken, besonders nach oben, wo sie ausserdem noch mit Erde überdeckt werden.

An der Zutrittsseite der Brücke wird vor der Brücke ein Sichtschacht eingebaut, in welchem der Wasserlauf über die Brücke abgesperrt und das Wasser durch eine Entleerung abgeleitet werden kann; auch ist darin ein Überlauf anzubringen in solcher Höhe, dass der Kanal über der Brücke nicht überfüllt, d. h. unter Druck gesetzt wird, wenn zufällig eine Hemmung des Wasserlaufes vorkommt. Lange Brückenkanäle sind in ihrem Verlaufe in Entfernungen von etwa 80 m mit Lüftungen zu versehen.

Der Querschnitt der Brückenkanäle ist mit Rücksicht auf die Krustenbildung an den Kanalwänden reichlich zu bemessen, andrerseits aber auch auf das geringste zulässige Mass zu beschränken wegen der Kosten des Unterbaues. Am besten eignet sich daher der Kreisquerschnitt; es ist jedoch nicht rätlich, die Grösse des Durchflussquerschnitts für eine Füllung bis 308° Zentriwinkel (die grösste Durchflussmenge des Kreisquerschnitts) zu berechnen, da in diesem Falle schon geringe Stauungen genügen, um eine Überfüllung und stossweise Ableitung herbeizuführen. Man sollte höchstens den Füllungsgrad der grössten Geschwindigkeit, nämlich $257\frac{1}{2}°$ Zentriwinkel, der Berechnung zu Grunde legen, der etwaigen Spiegelschwankungen grösseren Spielraum gewährt. Der Kanal, sowie der Oberteil der Brücke sind so zu gestalten, dass sie zum Zwecke von Ausbesserungen leicht zugänglich sind.

Im übrigen ist wegen der schwierigen Unterhaltung jeder äussere Prunk zu vermeiden, die Bedeutung der einzelnen Bauteile, wie des Kanals, der Pfeiler und Bögen, ist durch einfache Gliederung zum Ausdruck zu bringen, und der Gesamteindruck muss der grösster Sicherheit sein, ohne deshalb schwerfällig zu werden. Die Schönheit eines Bauwerkes, welche mit einfachen Mitteln erreicht wird, ist jedenfalls höher zu schätzen, als diejenige, welche durch Verschwendung von Zierwerk, das oft der konstruktiven Bestimmung des damit behafteten Bauteiles Hohn spricht, sich prahlerisch aufdrängt.

Die Wasserleitungen (Aquädukte) des Altertums, welche oft aus grossen Entfernungen durch vielgestaltiges Gelände das Wasser den grossen Städten zuführten, bestanden meist aus Gefällleitungen; Druckleitungen kommen nur für kleinere Wassermengen in Anwendung, denn die den Römern und Griechen bekannten Bleiröhren und Thonröhren, die sich für Druckleitungen eigneten, konnten zu jener Zeit nur in kleinen Lichtweiten hergestellt werden, so dass für etwas grössere Wassermengen schon mehrere solche Leitungen nebeneinander verlegt werden mussten.

Die Alten folgten daher, soweit möglich, mit ihren Aquädukten demjenigen Gelände, dessen Bodenoberfläche sich der Gefälllinie möglichst näherte, so dass der Aquädukt entweder mit geringem Auftrag auf die Bodenfläche oder mit mässigem Einschnitte in diese verlegt werden konnte; sie scheuten grössere Umwege nicht, um dies Ziel zu erreichen. Nur wo diese Umwege zu gross wurden, entschlossen sie sich, vorliegende Höhenrücken mit Stollen zu durchfahren, oder ausgedehnte Thäler zu überbrücken. Häufig besteht ein grosser Teil der Aquädukte aus solchen Wasserleitungsbrücken, woraus der heutige Gebrauch entstand, diese Brücken insbesondere als Aquädukte zu bezeichnen, obwohl sie nur einen Teil derselben bilden.

So bewundernswert diese alten Bauwerke in den noch vorhandenen Überresten sich uns darstellen, ebensowenig nachahmenswert sind sie für uns, da die Technik unserer Zeit die Mittel besitzt, solche kostspielige und in der Unterhaltung schwierige Bauten zu vermeiden. Nur in vereinzelten Fällen und dann in beschränktem

Masse werden jetzt noch Kanalbrücken für nötig erachtet und ausgeführt.

Nachstehend lasse ich Beschreibung verschiedener bemerkenswerter Thalüberbrückungen folgen:

Der Aquädukt von Segovia, durch Kaiser Trajan (98 bis 117 n. Chr.) erbaut, ist von 177 Bogenstellungen aus Granitquadern ohne Mörtel zusammengesetzt; der Aquädukt ist heute noch in Benützung, und zwar in ganz brauchbarem Zustande; seine Länge beträgt 1600 m, und seine Höhe über dem Grunde des von ihm überbrückten Thales ist 30,0 m.

Ein ebenfalls noch gut erhaltener Aquädukt überschreitet ein Thal in der Nähe der Stadt Nîmes; zwei hohe Bogenstellungen übereinander bilden denselben und dienen als Unterbau für eine lange Arkadenreihe, welche den Wasserleitungskanal trägt, dessen Wasserspiegel 48 m über demjenigen des Flusses Gardon liegt, welcher das überbrückte Thal durchströmt. Der Kanal hat rechteckigen Querschnitt von 1,20 m Breite und 1,30 m Höhe mit gerundeter Sohle; er ist mit einer Steinplatte abgedeckt. Merkwürdig ist die Stärke der Kruste, die sich auf beiden Seiten des Kanals (auf der Sohle nicht) mit der Zeit aus den Ablagerungen des Wassers gebildet hat und welche je 0,30 m beträgt, so dass die jetzige lichte Weite des Kanales nur noch 0,60 m ist.

Ein Bauwerk der Neuzeit ist die Haarlembrücke des Croton-Aquäduktes für die Wasserversorgung von New-York. Die Länge dieser Kanalbrücke beträgt 1500 engl. Fuss und ist durch 15 Bogen zusammengesetzt, deren grösste Höhe 160 Fuss beträgt bei 25 Fuss Breite. In dem Croton-Aquädukt kommt ferner auch die 1900 Fuss lange Überbrückung des Glendenningthales vor.

Die Hochquellenleitung für Wien, welche fast ganz als Gefällleitung ausgeführt ist, besitzt einige bemerkenswerte Thalüberbrückungen, wie die bei Leobersdorf, deren 20 Pfeiler eine durchschnittliche Höhe von 3,80 m haben; sie ist 285 m lang; ferner die Brücke bei Mauer mit 13 Pfeilern von 15,0 m Höhe bei 285 m Länge; die bei Speising mit 190 m Länge und 7 Pfeilern von 9,5 m Höhe; ebenso die bei Mödling 190 m Länge mit 7 Pfeilern von 23 m Höhe; die bei Baden von 675 m Länge mit 41 Pfeilern

bis 23 m hoch; endlich die bei Liesing 665 m lang mit 43 Pfeilern von 17 m Höhe.

Fig. 124 (Tafel XII) der hier beigefügten Zeichnungen gibt die Ansicht der Kanalbrücken- Bogenstellung der Wiener Wasserleitung, sowie einen Pfeilerdurchschnitt. Fig. 125 (Tafel XII) dasselbe von dem alten Aquädukt bei Nîmes. Der wesentliche Unterschied zwischen der alten und neuzeitigen Bauweise, wie sie aus diesen beiden Zeichnungen ersichtlich ist, besteht darin, dass die alten Römer für eine Höhe von 20 bis 30 m die Bogenstellungen in Stockwerken über einander anordneten, während in der Neuzeit dieselbe Höhe durch eine einfache Bogenstellung aus hohen schlanken Pfeilern erreicht wird. Die römischen Kanalbrücken erscheinen dafür schwerer, aber nicht plump, weil die vielfache Gliederung des Baues diesen belebt; die jetzigen einfachen Bogenstellungen machen nicht diesen Eindruck grosser Festigkeit, verbunden mit organischem, konstruktiv abgestuftem Aufbaue, besonders die hoch aufragenden, einstöckigen Kanalbrücken kennzeichnen sich häufig als steife Stelzenbauten.

Die Gefällleitungen werden häufig auch noch durch Kreuzungen mit Strassen, Eisenbahnen, Flüssen und Schiffahrtskanälen unterbrochen, welche nicht überbrückt werden können, sondern unterfahren werden müssen, so dass die Gefäll-Leitung streckenweise eine Druckleitung wird. Von diesen wird im folgenden Abschnitte über die Druckleitungen gesprochen werden.

Die Druckleitungen.

Diese Leitungen können nur aus Röhren hergestellt werden, deren Wandstärke und Verbindungsweise genügend widerstandsfähig ist, um bei allen vorkommenden Druckhöhen völlig dichten Abschluss nach aussen zu sichern.

Man war daher schon im grauen Altertume bemüht, solche Röhren herzustellen, womit das Wasser auch unter Druck zu allen menschlichen Wohnstätten geleitet werden konnte. Die Griechen und Römer verwendeten Stein-, Thon- und Bleiröhren, die Chinesen sogar Bambusröhren.

Durch die Aufdeckungen und Untersuchungen, welche der Kgl. Museen-Direktor Dr. Schöne veranlasste, wurden bei Athen in zwei Thälern nächst der Königsburg die Spuren einer alten Wasserleitung auf einer Strecke von etwa 2 km gefunden. Die Leitung bestand hier aus Steinröhren von etwa 1,20 bis 1,50 m Länge mit 0,30 m Bohrung. Im obersten Teile derselben Leitung fand man 3 Thonrohrleitungen von 190 mm Lichtweite und mittels Nute und Falz verbunden; ihre Baulänge ist 0,5 m und ihre Wandstärke 40 mm. Die Steinröhren waren nur eine Verstärkung der Thonröhren, welche das Innere der Steinröhren ausfüllten; an den am tiefsten gelegenen Stellen, wie in den oben erwähnten Geländesenkungen, waren die Steinröhren mit Blei- oder Bronceröhren ausgefüttert.

Bei den Römern war die Verwendung von Bleiröhren eine sehr ausgedehnte, allerdings meist nur als Verteilungsröhren zu den Gebäuden. Die Röhren hatten eine Länge von 2 bis 3 m und wurden aus Bleiplatten hergestellt, die mittels Blei zusammengelötet wurden. Diese Röhren hatten eine Wandstärke von etwa 7 mm und eine Lichtweite von 100 mm.

Ein Beispiel der Verwendung solcher Bleiröhren für Heberleitungen durch die Römer bietet der Aquädukt bei Lyon, der aus 9 parallelen Bleileitungen von 300 bis 450 mm Lichtweite und 25 mm Wandstärke besteht und einem Wasserdrucke von 6 Atmosphären widerstehen musste.

Diese Heberleitungen aus Bleiröhren waren jedenfalls sehr teuer, waren vielleicht auch schwierig in dichtem Zustande zu erhalten, denn sie wurden von den Römern nur selten ausgeführt. Die Araber dagegen bauten in der Blütezeit ihrer Kultur selten Thalüberbrückungen für Wasserleitung, sondern leiteten das Wasser in gebrannten Thonröhren, die bis 1000 mm Lichtweite hatten und mit hydraulischem Mörtel eine starke Ummauerung erhielten, über Berg und Thal. — Steinröhren wurden sogar noch im vergangenen Jahrhundert angewendet; so hatte Dresden seit 1848 eine Wasserleitung aus Steinröhren, welche aus dem Quadersandstein der sächsischen Schweiz hergestellt wurden; in Prag hatte man sogar Röhren aus durchbohrtem Marmor.

Eine ausgedehnte Verwendung fanden vor der Einführung der Eisenröhren die Holzröhren, die hauptsächlich aus den Stämmen der Nadelhölzer gebohrt und mittels schmiedeeiserner Büchsen mit einander verbunden werden.

In der Mitte des vorigen Jahrhunderts wurden mehrere Jahre hindurch häufig Asphaltröhren zu Wasserleitungen verlegt; ihre Herstellung geschieht in der Weise, dass endloses Papier von einer Breite, die gleich der Länge des Papieres ist, durch geschmolzenen Asphalt hindurchgezogen und auf einen Cylinder, dessen Durchmesser gleich der Lichtweite der zu erzeugenden Röhre ist, so lange aufgerollt wird, bis die erforderliche Wandstärke erreicht ist. Innen wird das Rohr mit einem feinen, wasserdichten Firniss und aussen mit mit Kies vermischtem Asphaltlack überzogen. Die Röhren werden durch Ueberschubmuffen verbunden und mittels eingetriebener Gummiringe oder mittels Asphaltkitt gedichtet. Diese Röhren werden jetzt nicht mehr verwendet, sie sind durch die Thon- und Zementröhren verdrängt.

Für Druckleitungen werden jetzt fast nur gusseiserne Rohrleitungen hergestellt, wenn die Lichtweite über 30 mm ist; und fast nur schmiedeeiserne oder Bleiröhren, wenn die Lichtweite 10 bis 30 mm, ausnahmsweise auch bis 50 und 80 mm ist.

Die gusseisernen Röhren.

Das zu Röhren verwendete Eisen soll geschmeidig sein, so dass es sich leicht bohren und feilen lässt; die Bruchfläche soll gleichmässig feinkörnig, aber nicht weiss und glasig erscheinen; das Eisen der Röhren muss frei von Schlacken, Sandlöchern, Luftblasen, zusammengehämmerten und verkitteten Stellen sein. Der Guss hat in senkrecht stehenden Formen, mit der Muffe nach unten zu geschehen, sie müssen in der Längsrichtung vollständig gerade sein und vollkommen konzentrischen Querschnitt haben. Der Aufguss am Schwanzende ist eben und senkrecht auf die Längsaxe abzuschneiden, die Muffen müssen die zur Bildung einer guten Dichtung entsprechende Weite haben. Innen und aussen erhalten die Röhren einen heissen Asphaltüberzug mit

Ausnahme der Innenfläche der Muffe und des Schwanzendes, soweit dasselbe bei der Rohrverbindung in der Muffe steckt.

Für die Verbindung der gusseisernen Röhren kommen zwei Hauptformen in Betracht, die Muffen- und die Flanschenverbindung. Je nachdem man bei Herstellung einer Rohrleitung die Billigkeit, die Beweglichkeit der Verbindung in der Längen- und Querrichtung, die leichte Löslichkeit der Verbindung oder endlich möglichst leichte und rasche Ausführung vorzieht, wählt man die eine oder die andere der genannten Verbindungen.

Muffenverbindungen.

Das Dichtungsmaterial besteht in der Regel aus ungeteerten Hanfstricken, die nur lose gedreht sind, und aus Weichblei; die Hanfstricke werden in 3 bis 4 Ringen um das Schwanzende des einen Rohres gewickelt und mittels eines Stemmeisens, dem sog. Strickeisen in die Fuge zwischen Schwanzende und Muffe bis auf den Grund der letzteren getrieben. Der noch leer bleibende Teil der Muffenfuge wird sodann mit geschmolzenem Blei ausgegossen und dieses durch Stemmeisen gleichmässig auf dem ganzen Rohrumfang eingestemmt, so dass ein völlig wasserdichter Abschluss entsteht. Die Muffe ist mit grösserer Wandstärke und mit Wulst ausgestattet, damit sie durch die angeführte Stemmarbeit nicht auseinandergetrieben werden kann.

Ausser dieser allgemein üblichen Verbindungsweise gibt es noch eine grosse Zahl anderer Muffenverbindungen und Dichtungen, sogenannte verbesserte, die jedoch entweder keine nennenswerte Verwendung fanden, oder sich nur für bestimmte Zwecke eignen, wie z. B. wenn eine besondere Beweglichkeit der Röhren verlangt wird.

Flanschverbindungen.

Flanschverbindungen werden hauptsächlich da verwendet, wo eine leichte Löslichkeit der Verbindung und bequeme Auswechselung einzelner Röhrenstücke erwünscht ist; zu diesem Zwecke werden den Röhren an beiden Enden Scheiben angegossen, welche gewöhnlich konzentrisch mit dem Rohre gebildet sind, manchmal

auch elliptische Form haben. Die Dichtungsfläche dieser Scheiben oder Flanschen muss ganz eben und senkrecht zur Längenachse des Rohres sein, sie wird deshalb nicht auf die ganze Fläche der Flansche ausgedehnt, sondern beschränkt sich auf eine ringförmige, mit dem Rohre konzentrische und abgedrehte Fläche, die Dichtungsleiste. Die Verbindung der einzelnen Flanschen zweier Röhren geschieht durch Schraubenbolzen, deren Bolzenlöcher ausserhalb des Dichtungsringes liegen. Die Dichtung wird vervollständigt durch Ringe aus Blei oder Gummi mit Hanfeinlagen; diese Ringe haben dieselbe Grösse wie die Dichtungsleisten der Flanschen, werden zwischen zwei solche gelegt und durch Anziehen der Schrauben fest angepresst.

Bleiringe geben eine sehr dauerhafte Dichtung, sie müssen jedoch aus einem Stück und sehr genau gegossen sein; schon kleine Gussfehler geben zu Undichtigkeiten Veranlassung. Leichter ist die Dichtung durch die elastischeren Gummiringe zu erreichen, weil hier kleine Unregelmässigkeiten durch das stärkere Zusammenpressen des Gummis ausgeglichen werden können.

Wenn Gummi auch nicht so dauerhaft als Blei ist, so besitzen die Gummiringe, da sie durch ihre eingezwängte Lage vor schädlichen äusseren Einflüssen geschützt sind, doch auch eine genügend grosse Beständigkeit, so dass sie allgemeine Verwendung finden.

Die Flanschverbindungen weisen in Bildung der Flanschen ebenfalls eine grosse Mannigfaltigkeit auf; für Wasserleitungszwecke kommt jedoch die Normal-Flansche fast ausschliesslich zur Verwendung, was auch bezüglich der Normalmuffen der Fall ist.

Der Verein deutscher Ingenieure und der Verein von Gas- und Wasserfachmännern hat zur Erzielung einheitlicher Röhrenformen und Abmessungen für Muffen- und Flanschröhren mit ihren Formstücken bestimmte Vorschriften gegeben, die jetzt nicht nur in Deutschland, sondern auch in auswärtigen Staaten, wie Oesterreich-Ungarn, allgemeine Geltung haben, so dass alle Giessereien ihre Röhrenmodelle genau nach diesen Normalen hergestellt haben. Es ergibt sich daraus der sehr erhebliche

Vortheil, dass man Röhren aus verschiedenen Giessereien beziehen und diese mit und ineinander vorlegen kann. In den hier folgenden Tabellen XVI, XVII und XVIII sind die normalen Abmessungen für Muffen- und Flanschröhren enthalten, sowie auch

XVI. Normaltabelle für Muffenröhren.

Lichtweite D	Wandstärke δ	Baulänge L	Innere Muffen		Äusserer Durchmesser des Rohres D_1	Gewicht			
			Weite D_2	Tiefe t		einer Muffe	eines ganzen Rohres	von 1,0 m Rohr ohne Zurechnung der Muffe	von 1,0 m Rohr mit Zurechnung der Muffe
mm	mm	m	mm	mm	mm	k	k	k	k
40	8,0	2	70	74	56	2,68	20,18	8,75	10,09
50	8,0	2	81	77	66	3,14	24,28	10,57	12,14
60	8,5	2	92	80	77	3,89	30,41	13,26	15,21
80	9,0	3	113	84	98	5,09	59,81	18,24	19,94
100	9,0	3	133	88	118	6,20	73,22	22,34	24,41
125	9,5	3	159	91	144	7,64	94,94	29,10	31,65
150	10,0	3	185	94	170	9,89	119,2	36,44	39,74
175	10,5	3	211	97	196	12,00	145,1	44,36	48,36
200	11,0	3	238	100	222	14,41	173,0	52,86	57,66
225	11,5	3	264	100	248	16,89	202,7	61,95	67,57
250	12,0	4	291	103	274	19,61	306,1	71,61	76,51
275	12,5	4	317	103	300	22,54	350,0	81,85	87,48
300	13,0	4	343	105	326	25,78	396,5	92,08	99,13
350	14,0	4	395	107	378	32,23	496,5	116,07	124,13
400	14,5	4	448	110	429	39,15	586,7	136,98	146,68
450	15,0	4	499	112	480	44,90	680,4	158,87	170,10
500	16,0	4	552	115	532	54,48	806,6	188,04	201,66
550	16,5	4	603	117	583	62,34	914,0	212,90	228,49
600	17,0	4	655	120	634	71,15	1026,8	238,90	256,69
650	18,0	4	707	122	686	83,10	1178,5	273,86	294,64
700	19,0	4	760	125	738	98,04	1342,6	311,15	335,66
750	20,0	4	812	127	790	111,29	1514,3	350,70	378,58
800	21,0	4	866	130	842	129,27	1700,6	392,69	425,01
900	22,5	4	970	135	945	160,17	2051,2	472,76	512,80
1000	24,0	4	1074	140	1048	196,00	2435,0	559,76	608,76
1100	26,0	4	1178	145	1152	243,76	2911,0	666,81	727,75
1200	28,0	4	1282	150	1256	294,50	3427,1	783,15	856,78

Bemerkung: Die Gleichung, nach welcher die Wandstärke berechnet wird, ist folgende:

$W = 6,0 + 0,001 \,.\, D \,.\, A$, worin

D = Lichtweite in Millimeter und

A = 20 Atmosphären Probedruck ist.

XVII. Normaltabelle für Flanschröhren.

Lichtweite	Flanschen		Dichtungsleiste		Lochkreis-Durchmesser	Wandstärke	Gewicht		
	Durchmesser	Dicke	Breite	Höhe			eines Flansches	von 1,0 m Baulänge	eines Rohres
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	k		k
40	140	18	25	3	110	8	1,89	10,64	21,28
50	160	18	25	3	125	8	2,41	12,98	25,96
60	175	19	25	3	135	8,5	2,96	16,22	32,44
80	200	20	25	3	160	9,0	3,84	20,80	62,40
100	230	20	28	3	180	9,0	4,96	25,65	76,94
125	260	21	28	3	210	9,5	6,26	33,27	99,82
150	290	22	28	3	240	10,0	7,69	41,57	124,70
175	320	22	30	3	270	10,5	8,96	50,33	151,00
200	350	23	30	3	300	11,0	10,71	60,00	180,0
225	370	23	30	3	320	11,5	11,02	69,30	207,9
250	400	24	30	3	350	12,0	12,98	80,26	240,8
275	425	25	30	3	375	12,5	14,41	91,46	274,4
300	450	25	30	3	400	13,0	15,32	102,89	308,7
350	520	26	35	4	465	14,0	21,29	130,26	390,8
400	575	27	35	4	520	14,5	25,44	153,85	461,6
450	630	28	35	4	570	15,0	29,89	178,80	536,4
500	680	30	40	4	625	16,0	34,69	211,17	633,5
550	740	33	40	5	675	16,5	44,28	242,42	727,3
600	790	33	40	5	725	17,0	47,41	270,51	811,5
650	840	33	40	5	775	18,0	50,13	307,28	921,8
700	900	33	40	5	830	19,0	56,50	348,82	1046,5
750	950	33	40	5	880	20,0	59,81	390,63	1171,9

NB. Die Baulänge der Flanschröhren ist bis einschliesslich 60 mm Lichtweite 2,0 m und von da aufwärts durchweg 3,0 m.

die Angaben über den Bedarf an Dichtungsmaterial für die verschiedenen Lichtweiten der Röhren. Durch die Zeichnungen Fig. 126 bis 139 (Tafel XIII) sind die Normalformen der geraden Röhren mit ihren Formstücken dargestellt.

Zu den Tabellen der Normal-Röhren sind folgende Bemerkungen zu beachten:

Die normalen Wandstärken gelten für Röhren, welche einem Betriebsdrucke von etwa 10 Atmosphären und einem Probedrucke von höchstens 20 Atmosphären ausgesetzt sind und vor allem Wasserleitungszwecken dienen. Für gewöhnliche Druckverhältnisse von Wasserleitungen (4 bis 7 Atm.) ist eine Verminderung

XVIII. Normaltabelle der Dichtungsmaterialien.

Lichtweite	Muffenröhren			Flanschröhren					
	Stärke der Dichtungsfuge	Gewicht der		Durchmesser d. Schraubenloches	Schrauben			Gewicht der	
		Hanfstricke	Bleidichtung		Anzahl	Stärke	Länge	Bleiringe	Gummiringe
mm	mm	k	k	mm		mm	mm	k	k
40	7,0	0,06	0,51	15,0	4	13,0	70	0,35	0,033
50	7,5	0,07	0,70	17,0	4	15,5	75	0,40	0,038
60	7,5	0,08	0,73	17,0	4	15,5	75	0,46	0,045
80	7,5	0,10	1,05	17,0	4	15,5	75	0,56	0,057
100	7,5	0,14	1,35	21,0	4	19,0	85	0,77	0,070
125	7,5	0,17	1,70	21,0	4	19,0	85	0,92	0,076
150	7,5	0,22	2,15	21,0	6	19,0	85	1,10	0,080
175	7,5	0,25	2,46	21,0	6	19,0	85	1,32	0,11
200	8,0	0,30	3,00	21,0	6	19,0	85	1,48	0,14
225	8,0	0,37	3,70	21,0	6	19,0	85	1,64	0,15
250	8,5	0,44	4,40	21,0	8	19,0	100	1,80	0,16
275	8,5	0,47	4,70	21,0	8	19,0	100	1,96	0,18
300	8,5	0,51	5,10	21,0	8	19,0	100	2,12	0,20
350	8,5	0,55	5,53	25,0	10	22,5	105	2,88	0,29
400	9,5	0,75	7,46	25,0	10	22,5	105	3,26	0,32
450	9,5	0,83	8,33	25,0	12	22,5	105	3,63	0,38
500	10,0	1,00	10,10	25,0	12	22,5	105	4,62	0,45
550	10,0	1,17	11,70	28,5	14	26,0	120	5,05	0,49
600	10,5	1,33	13,30	28,5	16	26,0	120	5,50	0,54
650	10,5	1,42	14,18	28,5	18	26,0	120	5,91	0,58
700	11,0	1,63	16,27	28,5	18	26,0	120	6,33	0,63
750	11,0	1,85	18,54	28,5	20	26,0	120	6,75	0,68
800	12,0	2,10	20,80	—	—	—	—	—	—
900	12,5	2,60	26,00	—	—	—	—	—	—
1000	13,0	3,20	32,00	—	—	—	—	—	—
1100	13,0	4,10	41,00	—	—	—	—	—	—
1200	13,0	4,60	45,50	—	—	—	—	—	—

der Wandstärke und dementsprechend auch der Gewichte zwar zulässig, aber nicht empfehlenswert. Für Leitungen, welche unter besonderen Verhältnissen schädlichen äusseren Einflüssen ausgesetzt sind, ist es dagegen rätlich, die Wandstärken zu vergrössern.

Der äussere Durchmesser des Rohres ist bei allen diesen Veränderungen der Wandstärke aber feststehend, und alle Vergrösserungen oder Verringerungen der Wandstärke können nur durch Änderung der Lichtweiten herbeigeführt werden.

Als unabänderlich normal gilt ferner die innere Muffenform, die Art des Anschlusses an das Rohr und die Bleifugenstärke.

Aus Gründen der Fabrikation sind bei geraden Normalröhren Abweichungen von den durch Rechnung ermittelten Gewichten von höchstens $\pm$ 3 % zu gestatten.

In den Gewichtsberechnungen der Röhren ist das specifische Gewicht des Gusseisens mit 7,25 eingesetzt worden.

Für die Anordnung der Schraubenlöcher der Flanschröhren gilt die Regel, dass in der Lotebene der Rohrachse sich keine Schraubenlöcher befinden sollen.

Der Verbrauch an Dichtungsmaterialien für die Muffenröhren stellt sich in Wirklichkeit etwas höher als in der Tabelle XVIII angegeben; für die Verluste während der Rohrlegungsarbeiten ist ein entsprechender Zuschlag zu machen, und zwar für den Blei- und Strickverbrauch der Muffenverbindungen 10 % der in der Tabelle enthaltenen Gewichte. Für die Blei- und Gummiringe der Flanschverbindungen genügt ein Zuschlag von 5 %.

Für die Gewichte der gusseisernen Formstücke, welche durch die Konstruktionszeichnungen Fig. 126 bis 139 dargestellt sind, gibt es auch Tabellen, deren Beifügung hier jedoch unterlassen werden kann, da man die Gewichte dieser Formstücke aus der hier mitgeteilten Normaltabelle für die geraden Röhren leicht ermitteln kann. In dieser Tabelle ist nämlich das Gewicht von 1,0 m Rohr ohne Muffe und ohne Flansche angegeben, sowie andrerseits das Gewicht der Muffen und Flanschen allein. Durch Vereinigung der Rohrstücke von verschiedener Länge und der Muffen und Flanschen, erhält man die verschiedenen Formstücke.

Zu den Konstruktionszeichnungen der Formstücke ist noch Folgendes zu bemerken:

Die Baulänge der Abzweigröhren

Tabelle XIX.

für die A- und B-Stücke ist:

	Baulänge m	D = Durchmesser des Hauptrohres mm	d = Durchmesser des Abzweiges mm
1.	0,80	40—100	40—100
2.	1,0	125—325	40—325
3.	1,0	350—500	40—300
3.	1,25	350—500	325—500
4.	1,00	550—750	40—250
	1,25	550—750	275—500
	1,50	550—750	550—750

Tabelle XX.

für die C-Stücke ist:

	Baulänge m	D = Durchmesser des Hauptrohres mm	d = Durchmesser des Abzweiges mm
1.	0,8	40—100	40—100
2.	1,0	125—275	40—275
3.	1,0	300—425	40—250
	1,25	300—425	275—425
4.	1,0	450—600	40—250
	1,25	450—600	275—425
	1,50	450—600	450—600
5.	1,00	650—750	40—250
	1,25	650—750	275—425
	1,50	650—750	450—600
	1,75	650—750	650—750

Sämtliche Formstücke über 750 mm Lichtweite werden nicht als normale Formstücke betrachtet. Bei der Berechnung der Gewichte von Formstücken ist dem Gewichte, welches nach den normalen Maassen derselben berechnet ist, ein Zuschlag von 15 %, bei Krümmern (Bogenstücken) ein solcher von 20 % zu geben.

Diejenigen Abzweigstücke, deren Abzweig einen Durchmesser von 400 mm und mehr besitzt, sind von 2 Atmosphären Betriebsdruck an sowohl in ihren Wandungen, als auch durch Rippen zu verstärken.

Die Baulänge der Absperrschieber ist ebenfalls von Bedeutung, weil diese in die Leitungen eingebaut werden; sie beträgt für Flanschenschieber $L = D + 200$ mm; für Muffen-

schieber mit unmittelbar eingetriebenen Sitzringen $0,7\,D + 100 = L$ und mit eingebleiten Sitzringen $L = D + 250 - 2\,t$.

Die Kosten für die gusseisernen Röhren sind nach dem jeweiligen Preise des Röhrengusses, welcher erheblichen zeitlichen Schwankungen unterworfen ist, zu berechnen; durchschnittlich ist der Preis für 100 k gusseiserne gerade Normalröhren 16 bis 17 Mk., die normalen Formstücke kosten etwa 10 % mehr, und die annormalen Formstücke 30 bis 50 % mehr.

Die Kosten für das Verlegen sind örtlich und zeitlich sehr verschieden und müssen für jeden Einzelfall besonders festgestellt werden, ebenso die Kosten für die Erdarbeiten.

Die Rohrgräben sollen mindestens eine solche Tiefe erhalten, dass die Überdeckung des Rohres noch 1,20 m über Rohr-Oberkante beträgt; die Breite soll mindestens 0,65 m erreichen. Die Grabensohle ist möglichst eben auszugleichen, damit die Röhren in ihrer ganzen Länge auf dem gewachsenen Boden liegen; das stellenweise Unterlegen der Röhren mit Steinen ist nachteilig, weil in diesem Falle die Röhren zwischen den Steinen keine feste Auflage haben und hier bei starker Belastung oder einem Stosse von oben leicht brechen können. Aus dem gleichen Grunde sollen die Röhren bei Kreuzungen von altem Fundamentmauerwerk nicht unmittelbar auf dieses gelagert werden, sondern eine Unterlage von Thon oder Erde erhalten. Wenn Röhren kleinere Kanäle durchkreuzen, müssen sie innerhalb dieser Kanäle Überzugsröhren erhalten.

Ist der Untergrund, in welchen eine Leitung gebettet werden soll, nicht tragfähig, so muss die Grabensohle durch Steinwurf, Beton oder Pfähle mit Sattelhölzern befestigt werden. Bei Einfüllung der Rohrgräben nach dem Verlegen einer Leitung ist vor allem die Unterfüllung und erste Überdeckung der Röhren mit steinfreiem Boden sorgfältig auszuführen, derart, dass die Leitung zuerst gut unterstampft und dann bei der Überdeckung nicht unmittelbar auf das Rohr gestampft wird; ein Einschlämmen des Bodens erhöht die sichere Einbettung der Leitung. Abgesteifte Rohrgräben sollen erst dann entsteift werden, wenn die Leitung, besonders bei den Muffenlöchern, gut unterstampft und so weit

überdeckt ist, dass darauf fallende Steine nicht mehr schaden können.

Schmiedeeiserne und Bleirohrleitungen kommen für die Hauptleitungen nur ausnahmsweise vor; darüber wird gelegentlich solcher Fälle das Nötige erwähnt; ihre eigentliche Massenverwendung finden sie bei den Verteilungsleitungen innerhalb der Privatgrundstücke, wovon ein besonderer Abschnitt handelt.

Während der Verlauf einer Gefäll-Leitung durch den Verlauf der Gefäll-Linie im Gelände gleichsam vorgezeichnet ist, hat man für die Linienführung einer Druckleitung unterhalb der Gefäll-Linie möglichst freie Wahl, man sucht daher immer mit der Leitung von ihrem Ausgangspunkte auf kürzestem, d. h. billigstem und sicherstem Wege, zu ihrem Zielpunkte zu gelangen. Soweit als möglich sucht man dabei öffentliche Wege und Strassen zu benutzen, weil hier gewöhnlich keine Entschädigungspflicht entsteht und die Leitungen auch ungehindert zugänglich sind. Als besondere Hindernisse stellen sich hier die Kreuzungen mit Bächen und Flüssen, Schiffahrtskanälen, Eisenbahnen und auch Schmutzwasserkanälen entgegen.

Flüsse und Schiffahrtskanäle, sowie Strasseneinschnitte überschreitet man am zweckmässigsten mittels Röhrenbrücken, nur wo dies nicht angängig ist, verlegt man unter den Gewässern Dücker und in den Einschnitten Heberleitungen.

Röhrenbrücken.

Sind nicht schon Verkehrsbrücken vorhanden, welche als Träger einer Wasserleitung benutzt werden können, so muss eine besondere Röhrenbrücke gebaut werden. Dieselbe kann sowohl aus Holz, Eisen und Stein konstruiert sein und muss ausser der sicheren Lagerung der Rohrleitung auch genügende Zugänglichkeit zu dieser bieten. Die Röhren innerhalb des Brückenzuges sind durch eine Umhüllung, am besten ist ein gut schliessender Holz- oder Blechschlauch, gegen die Temperatureinflüsse von aussen zu schützen. Ferner ist, je nach der Länge und der Konstruktion der Brücke, dafür Sorge zu tragen, dass sich die Brückenleitung in der Längenrichtung unbeschadet ihrer Dichtigkeit ver-

schieben kann. Man wendet zu diesem Zwecke stellenweise bewegliche Rohrverbindungen an, wie sie beistehend in Fig. 140 u. 141 skizziert sind.

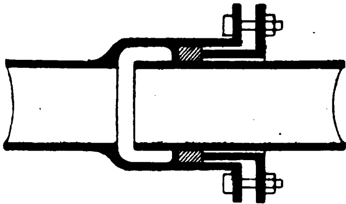


Fig. 140.

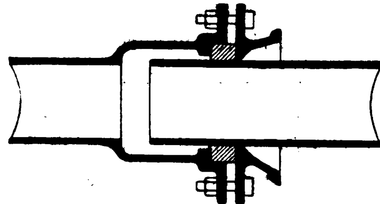


Fig. 141.

Fig. 140 ist eine gewöhnliche Stopfbüchsenverbindung, welche nur Verschiebungen in der Richtung der Längenachse, Fig. 141 eine becherförmige Stopfbüchsenverbindung, welche sowohl Längenverschiebungen, als auch seitliche Ausbiegungen gestattet.

Die Wasserleitungen über Röhrenbrücken, einerlei ob man vorhandene Verkehrsbrücken dazu benutzt, oder besondere anlegt, erhalten beiderseits vor der Brücke einen Absperrschieber, sowie auch eine Entleerungsvorrichtung; ist die Leitung von beiden Seiten nach der Mitte ansteigend, so ist in dem Scheitelpunkte ein Luftventil anzubringen. Wird eine vorhandene Verkehrsbrücke benutzt, so ist die Wasserleitung unter dem Gehwege der Brücke seitlich der Fahrbahn aufzuhängen.

Heberleitungen.

Tiefe Gelände-Einsenkungen, Strassen- und Eisenbahneinschnitte, deren Überbrückung nicht statthaft ist, oder zu teuer wird, werden von einem Abhange herab zum anderen hinauf mit der Druckleitung durchschnitten; man bezeichnet sie als Heberleitungen, weil sie durch die an den Abhängen ab- und aufsteigenden Rohrschenkel die Form eines Hebers haben, denn von einer Heberwirkung kann bei diesen Druckleitungen nicht die Rede sein. Auf der Sohle des Thales oder Einschnittes muss die Leitung im Gefälle nach einem tiefsten Punkte ver-

legt werden, von wo aus sie entleert werden kann. Zu beiden Seiten der Heberleitung vor den beiden Rändern des Einschnittes sind Absperrschieber und am Entleerungspunkte ein Ablassschieber einzubauen, und zwar bringt man diese Absperrschieber zweckmässig in besteigbaren Schächten unter, damit sie jederzeit sicher und rasch in Benutzung genommen werden können. Die Wiederfüllung einer entleerten Heberleitung muss mit Vorsicht und möglichst langsam geschehen, damit die vom Wasser verdrängte Luft Zeit hat, von unten nach oben in der Leitung zu entweichen; für den Austritt der Luft sind nächst den beiden oberen Absperrschiebern Lufthähne anzubringen. Bei Leitungen von grosser Lichtweite wird häufig eine besondere Leitung kleinerer Lichtweite von oben nach unten geführt, die nur zur Füllung dient und mit dem Hauptrohre in seiner Tieflage verbunden ist. Durch diese Füllung von unten nach oben, statt von oben nach unten, erreicht man einen ruhigen, stossfreien Verlauf der Füllung.

Dückerleitungen.

Ist ein natürlicher oder künstlicher Wasserlauf zu kreuzen und eine Überbrückung desselben nicht zulässig, so muss die Rohrleitung den Wasserlauf unterdückern, d. h. sie wird in das Bett desselben verlegt, sie steigt an dem einen Ufer herab am andern wieder hinauf. Der grösste Übelstand der Dückerleitungen besteht darin, dass sie nicht zugänglich sind, weshalb man sie dort, wo man die Kosten nicht scheut, auch in Dückerkanälen, die in das Bett eingebaut werden, verlegt. Meist geschieht dies jedoch nicht, sondern es werden die auf Gerüsten fertig hergestellten Rohrstrecken unter Wasser in einem Stück versenkt und in einen durch Baggerung im Bette hergestellten Graben eingelassen. Der Rohrgraben wird, nachdem man die Rohrleitung hat untersuchen und allenfalls, wenn stellenweise nötig, hat an eingerammten Pfählen befestigen lassen, mit Kies eingefüllt; die oberste Decke von etwa 0,50 m bildet man zweckmässig aus Beton, besonders in schiffbaren Flüssen. Für Dückerübergänge wählt man solche Flussstellen aus, wo Auskolkungen durch

starke Strömungen nicht zu befürchten sind und für die Verlegung des Dückers die Zeit der dauernden Niederwasser, die frei von Eisgang sind.

Zum Zwecke der Versenkung werden die Dückerleitungen öfter teilweise mit Wasser gefüllt, wobei jedoch zu befürchten ist, dass, wenn die Dückerleitung nicht ganz wagerecht versenkt wird, das Wasser in der Leitung hin- und herschwankt und dadurch die Leitung ungleich und schwankend belastet wird. Besser ist eine äussere Belastung der Leitung behufs Versenkung. Für Dückerleitungen von grösserer Lichtweite werden meist schmiedeeiserne, genietete Röhren verwendet, die leichter zu handhaben und zu transportieren sind, den Boden, in welchen sie gebettet werden, weniger belasten und wegen der Zähigkeit und Geschmeidigkeit des Schmiedeeisens geringerer Bruchgefahr ausgesetzt sind. Aus denselben Gründen verwendet man auch öfter schmiedeeiserne Röhren zum Verlegen auf Röhrenbrücken und auch in wenig tragfähigem Boden.

Für die kleinen Lichtweiten, bis etwa 100 mm, werden die schmiedeeisernen Röhren über einen Dorn gezogen und bei der Naht entweder stumpf oder mit Überschlag zusammengeschweisst. Die grösseren Lichtweiten werden aus Blechen hergestellt, die an der Längsnaht zusammengenietet sind und zwar gewöhnlich mit doppelter Nietenreihe. Zum Schutze gegen das Rosten erhalten die schmiedeeisernen Röhren für Wasserleitungen gewöhnlich einen inneren und einen äusseren Zinküberzug auf galvanischem Wege; die grösseren Lichtweiten erhalten einen heissen inneren und äusseren Asphaltüberzug. Über die Verbindung schmiedeeiserner Röhren mit einander wurde schon in dem Abschnitte über Bohrröhren, S. 191 u. 192, einiges mitgeteilt; die Wasserleitungsröhren grösserer Lichtweite erhalten gewöhnlich Flanschverbindungen; diese Flanschverbindungen unterscheiden sich wesentlich dadurch, dass die Flanschen auf die Rohrenden fest aufgenietet oder geschweisst sind, oder dass die Rohrenden umgebördelt sind oder einen aufgeschweissten Bund haben, hinter welchem die Flanschen beweglich über das Rohr geschoben sind. Die Dichtung

erfolgt hier auch durch zwischengelegte Gummi- und Bleiringe, welche durch die Schrauben der Flanschen fest auf die Dichtungsflächen, die abgedreht sind, gepresst werden.

In nachstehenden Figuren 142 bis 146 sind solche Verbindungen schmiedeeiserner Röhren skizziert.

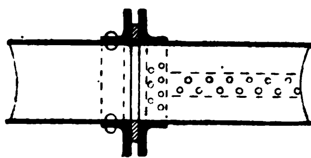


Fig. 142.
Aufgenietete Flanschen.

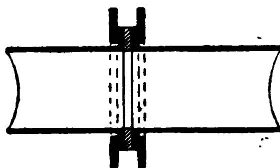


Fig. 143.
Umgebördelte Enden mit beweglichen Flanschen.

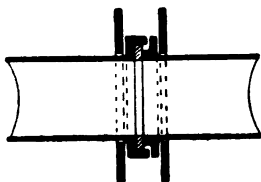


Fig. 144.
Angelöteter Bund mit Falz.

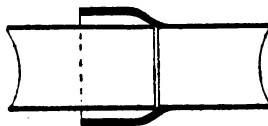


Fig. 145.
Muffenverbindung.

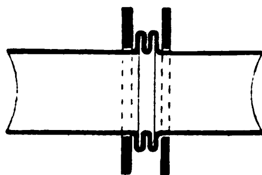


Fig. 146.
Doppelbördel mit beweglichen Flanschen; Dichtung mit Ring aus Kupferdraht.

Nebenstehende Tabelle XXI enthält die Wandstärken und Gewichte schmiedeeiserner Röhren samt Flanschen von 100 bis 300 mm Lichtweite.

In neuerer Zeit kommen auch die Mannesmann- oder schräggewalzten Röhren aus Flusseisen oder Flussstahl zur Verwendung und zwar sowohl mit Muffen- als mit Flanschverbindung; die Muffen werden dem Rohre unmittelbar aufgepresst, während die Flanschen beweglich hinter umgebördelten Rohrenden oder aufgelöteten Bunden sitzen.

Tabelle XXI.

Lichtweite D in mm:	100	125	150	175	200	225	250	275	300
Wandstärke . . mm	3,75	4,00	4,50	4,50	6,0	6,5	7,00	7,50	7,50
Gewicht von 1,0 m Rohr mit Flanschen . k	10,0	12,65	18,10	21,70	33,0	39,00	49,5	56,0	61,50

Die Gewichte der schräggewalzten stählernen Muffenrohre verhalten sich zu denen eines gleich weiten gusseisernen Muffenrohres wie 1 : 2,5. In schlechtem Untergrunde, sowie gegen Bruch durch zufällige Belastungen von oben können diese Stahlröhren grössere Sicherheit bieten, als gusseiserne; ferner lassen sich schwache Kurven der Leitung durch Biegen der Röhren auf dem Verwendungsplatze leicht herstellen. Die Röhren erhalten einen Asphaltüberzug von innen und aussen. Die Muffenrohre werden in Lichtweiten von 40 bis 200 mm mit 3 bis 8 mm Wandstärke und bis zu 10,0 m Länge hergestellt.

Die Flanschenröhren erhalten je nach dem Betriebsdrucke die oben in Fig. 142 bis 146 dargestellten Verbindungen; für sehr hohen Druck empfiehlt sich das Mannesmann-Stahlrohr mit Doppelbördel-Flansch (Fig. 146).

Genietete Röhren aus Blech werden bis zu 2,0 m Lichtweite angefertigt.

Die Dückerleitungen erhalten ebenfalls an ihren beiden Endpunkten einen leicht zugänglichen Einsteigschacht, worin Absperrschieber und Luftventil untergebracht sind.

Bei der Unterfahrung von Bahnkörpern wird meist verlangt, dass die Rohrleitung in einem zu beiden Seiten des Bahnkörpers ausmündenden schlüpfbaren oder begehbaren Kanal verlegt wird, damit bei vorkommenden Undichtigkeiten der Leitung das Wasser durch den Kanal nach einer Seite ablaufen kann, und so Unterwaschungen des Bahnkörpers vermieden werden. Der Rohrkanal erhält zu diesem Zwecke Gefälle nach der Entleerungsseite, wo er ausserhalb des Bahnkörpers in einen besteigbaren Schacht ausmündet, der mit Entwässerung versehen ist.

Zur Vervollständigung des oben über Wasserleitungen Er-

wähnten können noch folgende kurze Angaben über ausgeführte Leitungen dienen.

Die Wasserleitung, welche der Stadt Paris das Wasser aus der Champagne hinzuführt, hat eine Länge von 183 294 m oder 24,7 deutschen Meilen. Die Thäler bis zu 10 m Tiefe werden mittels Brücken, die tieferen Thäler mittels eiserner Heberleitungen überschritten.

Von der Gesamtleitung liegen:

im Boden eingegraben . .	141 318 m
in Stollen	28 546 „
auf Brücken	6 124 „
als Heberleitung	7 306 „
Sa.	183 294 m

Vom Beginne im Quellengebiete bis zur Einmündung der Wasserleitung de la Dhuis hat die Leitung einen lichten Querschnitt von 1,5 m Breite und 2,1 m Höhe, und von dieser Einmündung bis Paris einen kreisförmigen Querschnitt von 2,1 m Durchmesser. Die Heberleitungen bestehen aus je zwei gusseisernen Rohrsträngen von je 1,0 m Lichtweite. Das Gesamtgefälle dieser Wasserleitung beträgt 23,88 m oder durchschnittlich 13 : 100 000.

Der Reinwasserkanal der Hamburger Filterwerke unterdückert die Elbe in einer Länge von 182 m und besteht aus genieteten Blechröhren von 2,0 m Lichtweite und 15 mm Wandstärke; am Stosse sind die einzelnen Rohrstücke ebenfalls vernietet; die Röhren sind mit einer Mischung von Teer und Terpentin überstrichen, worüber noch ein heisser Teeranstrich erfolgte.

Vor der Versenkung wurde das Dückerrohr mit 6 Atmosphären Wasserdruck und nach der Versenkung mit $2^1/_2$ Atm. Luftdruck auf seine Dichtigkeit geprüft. Das Dückerrohr wurde neben der Baustelle zusammengebaut und dann schwimmend über letztere gebracht, worauf dann die an beiden Ufern aufsteigenden Enden angefügt wurden. Nach der Versenkung des Dückers in eine ausgebaggerte Rinne wurde das Rohr mit Baggersand überdeckt. Das Dückerrohr hat ein Gesamtgewicht von 200 000 k und einen

Auftrieb im leeren Zustande von 350 000 k.; es wurde deshalb behufs der Versenkung in einem Gerüstrahmen in seinem mittleren Teile mit Blei- und Roheisenbarren belastet. Als dauernde Belastung wurde nach der Versenkung eine in der Mitte 300 mm starke Betonsohle in das Dückerrohr gelegt, wodurch das Eigengewicht des Rohres um 600 k auf 1 laufendes Meter erhöht und der Ballast von Blei und Eisen überflüssig wurde.

Der Dücker unter dem Drac bei Grenoble besteht aus zwei 700 mm weiten Röhren, die auf der Sohle eines elliptischen Kanales verlegt sind, dessen grosse Achse wagrecht liegt; die Lichtweite des Kanales ist 3,0 m, seine Höhe 1,8 m mit 400 mm Mauerstärke.

Ebenso liegt auch der Dücker für die Wasserleitung von Liverpool, der sich auf 240 m unter dem Flusse Mersey erstreckt, in einem Kanale von kreisförmigem Querschnitt und 3,0 m äusserem Durchmesser. Dieser Kanal ist aus gusseisernen, mittels Flanschen verbundenen Kreissegmenten zusammengesetzt, welche 18 mm Wandstärke haben. In diesem Begehungskanale liegen zwei Dückerröhren von je 800 mm Lichtweite auf Querschwellen.

Die Druckleitungen dienen entweder zur Wasserförderung von dem Entnahmegebiet bis zum Versorgungsgebiete oder zur Verteilung des Wassers innerhalb des Versorgungsgebietes. Im ersten Falle bestehen sie aus einer oder aus zwei nebeneinander liegenden einfachen Rohrleitungen, welche im Entnahmegebiete sich allenfalls in mehrere Zweigleitungen von den einzelnen Entnahmestellen verästeln; man kann diese als Versorgungsleitungen bezeichnen. Im zweiten Falle bilden die Verteilungsleitungen ein zusammenhängendes Netz von Rohrleitungen verschiedener Lichtweiten, entsprechend dem Wasserbedürfnis der einzelnen Teile des Versorgungsgebietes. Die Versorgungsleitungen haben im allgemeinen eine gleichmässige Wassermenge zu fördern, während die Verteilungsleitungen dem stets wechselnden Wasserbedürfnis genügen müssen, weshalb ich jede, getrennt von der andern, der Erörterung unterziehe.

1. *Die Versorgungsleitungen.*

Man kann dabei wieder unterscheiden:

a) Zuleitung aus dem Entnahmegebiete bis zu dem Sammelbehälter mittels natürlichen Gefälles.

b) Druckrohrleitung eines Pumpwerks bis zum Sammelbehälter.

c) Zuleitung vom Sammelbehälter bis zum Verteilungsnetz.

a) Die Wasserzuleitung mittels natürlichen Gefälles bis zum Sammelbehälter hat das im Entnahmegebiete verfügbare Wasser und in der für die Wasserversorgung bestimmten grössten Menge mit möglichst geringem Gefälle seiner Bestimmung zuzuführen.

Hat man unter Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse eine zweckmässige Linie für die Erstreckung der Druckleitung bestimmt, so ist diese in Grund und Aufriss aufzuzeichnen. Die Länge derselben, sowie das absolute Gefälle vom Anfangspunkte der Leitung bis zu deren Ausmündung in den Behälter festzustellen; die grösste Wassermenge, welche die Leitung zu fördern hat, ist schon vorher ermittelt, so dass nun die erforderliche Lichtweite berechnet werden kann. Von dem absoluten Gefälle G_a bringt man zunächst für die in der Leitung vorhandenen besonderen Widerstände, wie Krümmungen, Ein- und Austrittsgeschwindigkeit des Wassers einen kleinen Teil, dessen Grösse hauptsächlich durch die Art und Anzahl der Krümmungen bestimmt wird, in Abzug, woraus sich dann das noch verfügbare Nutzgefälle H für die Längenerstreckung ergibt. Berechnen lassen sich diese besonderen Widerstände annähernd, z. B. die Eintritts- sowie auch die Austrittswiderstände $= W = \frac{0,5\,V^2}{2\,g}$, und da allgemein bei Berechnung von Wasserleitungen eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 1,0 m angenommen wird, so ist

$$W = 0,025 \text{ und } 2\,W = 0,05 \text{ m},$$

also im Verhältnis zu den absoluten Gefällen sehr gering.

Für Krümmungen ergibt sich die Widerstandshöhe durch folgende Gleichung von Grashof:

$$W = 0,00416 \,.\, \varphi \,.\, (1 - \frac{D}{2\,\varrho}) \cdot \sqrt{\frac{D}{2\,\varrho}} \cdot \frac{V^2}{2\,g}$$

φ = Ablenkungswinkel des Krümmers, D = Lichtweite der Röhre, ϱ = Krümmungshalbmesser; gewöhnlich ϱ = 5 D. oder 10 D., und da V gewöhnlich = 1,0 m ist, ist $\frac{V^2}{2g} = 0{,}05$;

für ϱ = 5 D. ist demnach:

$$W = 0{,}00416 \,.\, \varphi\,(1-0{,}1)\,.\sqrt{0{,}10}\,.\,0{,}05$$
$$= 0{,}00006\,.\,\varphi.$$

Der Winkel φ ist durch Bogenlänge (a) auszudrücken, und demnach ist $a = \frac{\varphi}{360}\,.\,\pi\,.\,2\,.\,\varrho$; und wenn ϱ = 5 D., dann ist

$$a = \frac{\varphi}{360}\,.\,31{,}4159\,.\,D.,$$

für $\varphi = 45^0$ ist a = 3,927 D. und demnach

$$W = 0{,}00006\,.\,3{,}927\,.\,D = 0{,}0002356\,.\,D\,.\,m,$$

für D = 300 mm wird W = 0,00007 m.

W nn also nicht sehr viele und scharfe Krümmungen in einer langen Leitung vorkommen, so sind auch die dadurch veranlassten Widerstände nicht erheblich. Bei nicht sehr langen Leitungen kann man daher die besonderen Widerstände ganz vernachlässigen, bei langen Leitungen dafür der Sicherheit wegen 0,5 bis 1,0 m in Rechnung bringen.

Aus dem Nutzgefälle H ergibt sich das Gefällverhältnis $G_v = \frac{H}{L}$ (L ist Länge der Leitung). Bezeichnet M die zu fördernde Sekundenwassermenge in Kubikmetern und R den lichten Halbmesser der Leitung, so ist nach der Eytelweinschen Gleichung (17 c auf S. 91):

$$R = 0{,}1546\,.\sqrt{\frac{M^2}{G_v}} = 0{,}1546\,.\sqrt{\frac{M^2\,.\,L}{H}},$$

für M = 100 Sekundenliter, L = 9 km und H = 36,0 m erhält man:

$$R = 0{,}1944 \text{ oder rund } 0{,}2\text{ m};\ D = 0{,}4\text{ m}$$
$$G_v = 0{,}004 = 1 : 250$$
$$V = 36\,.\sqrt{0{,}2\,.\,0{,}004} = 1{,}02\text{ m}$$
$$M = 113{,}10\,.\sqrt{(0{,}2)^5\,.\,0{,}004}.$$

$$\sqrt{(0,2)^5} = 0,017888 \text{ m},$$

daher M = 128,0 Sekundenliter.

Man erhält durch die Rechnung 128 statt der angenommenen 100 Sekundenliter, weil der Halbmesser R auf 0,20 abgerundet, also grösser wurde, als die Rechnung für 100 Sekundenliter ergibt.

$$G_v = \frac{0,00077 \,.\, (1,02)^2}{0,20} = 0,004$$

$$G_v = \frac{0,0000886 \,.\, (0,128)^2}{(0,2)^5} = 0,004.$$

Würde man jedoch nur 100 Sekundenliter fördern, so würde ein

$$G_v = \frac{0,000086 \,.\, (0,1)^2}{(0,2)^5}$$

$$= 0,00277 = 1 : 365 \text{ erfordert,}$$

oder ein absolutes Gefälle H von 24,7 m.

Die Wassergeschwindigkeit wäre in dem 400 mm weiten Rohre

$$V = 36,00 \,.\, \sqrt{0,2 \,.\, 0,00277} = 0,85 \text{ m.}$$

Würde man die Kutterschen Gleichungen zur Berechnung anwenden, nachdem man zunächst durch die Eytelweinsche D. mit 400 mm gefunden hat, so ist w nach Tabelle II, wenn man

$m = 0,25$ annimmt,

$$w = \frac{\sqrt{0,200}}{0,00353 + 0,01\sqrt{0,200}} = 55,9$$

nach Gleich. 17b u. c $V = 0,707 \,.\, 55,9 \sqrt{0,200 \,.\, 0,004} = 1,1176$ m.

„ „ „ „ $M = 2,221 \,.\, w \,.\, \sqrt{(0,20)^5 \,.\, 0,004}$

$(0,20)^6$ ist 0,00032, demnach

M = 141 Sekundenliter.

Berechnet man dagegen R nach der Kutterschen Formel unter Beibehaltung des w für R = 0,20, und der vorgesehenen Wassermenge M = 100 Sekundenliter, so ist

$$R = 0,745 \,.\, \sqrt[5]{\frac{(0,1)^2}{(55,9)^2 \,.\, 0,004}};$$

$$\sqrt[5]{\frac{1}{(55,9)^2}} = 0,20, \text{ demnach}$$

$$R = 0,1788 \text{ oder D. rund} = 350 \text{ mm},$$

während oben nach der Eytelweinschen Formel mit w = 50,93 R = 0,1944 wurde. Ein kleiner Unterschied ergibt sich noch, wenn man für w den Wert einsetzt, welcher der Lichtweite D = 350 mm entspricht, nämlich w = 54,2; R fällt dann etwas grösser aus als mit w = 55,9, indem jetzt $\sqrt[5]{\frac{1}{(54,2)^2}}$ = 0,203 ist statt 0,200; also ein Unterschied, der von keiner Bedeutung ist.

Die Lichtweite für die Rohrleitung, welche mit einem Gefällverhältnis von 1 : 250 eine Wassermenge von 100 Sekundenliter liefern kann, ist ganz einfach aus der Tabelle III zu finden, indem man hier zunächst das Gefällverhältnis 1 : 250 = 0,004 in den beiden ersten Spalten aufsucht und von hier dann auf derselben wagrechten Linie so lange nach rechts vorrückt, bis man auf eine hier verzeichnete Wassermenge kommt, welche annähernd 100 Sekundenliter ist; die über der fraglichen Spalte stehende Lichtweite ist die gesuchte. Im vorliegenden Falle ist die erste vorkommende derartige Wassermenge 98 Sekundenliter mit 1,01 m Geschwindigkeit und 350 mm Lichtweite. Die darauf folgende Spalte verzeichnet für 400 mm Lichtweite 141 Sekundenliter mit 1,12 m Geschwindigkeit. Zwischen 350 und 400 mm hat man noch die Wahl von 375 mm Lichtweite, wodurch die Wassermenge von 100 Sekundenliter zwar auch überschritten wird, aber nicht in dem Masse wie bei 400 mm. Häufig ist das verfügbare Gefälle ein beschränktes und nicht sehr grosses, so dass man sehr grosse Rohrlichtweiten anwenden muss, oder gar die Geschwindigkeit des Wassers in der Rohrleitung eine so geringe wird, dass die Leitung des Wassers in einer geschlossenen Rohrleitung auf grosse Strecken sehr bedenklich wird wegen der Ablagerungen aus dem Wasser. In diesem Falle ist dann zu erwägen, ob eine Gefällleitung mittels Zement- oder Thonröhren, bei grossen Wassermengen mittels gemauerten Kanals nicht teurer ist, als eine gusseiserne Druckleitung grosser Lichtweite. Gusseiserne Röhren von mehr als 800 mm Lichtweite sind schwierig zu verlegen und zu dichten und verlangen sehr tragfähigen Boden; ausserdem ist zu

bedenken, dass Röhren von solcher Weite mit ihren grossen Wassermengen bestimmt sind, ausgedehnte Gebiete zu versorgen, so dass sich eine Unterbrechung des Betriebes solcher Leitungen durch nötige Ausbesserungsarbeiten ausserordentlich fühlbar macht, indem dadurch eine ausgedehnte Wassernot veranlasst werden kann. Es empfiehlt sich also auch aus Rücksicht auf die Betriebssicherheit, statt einer Leitung von grosser Lichtweite zwei Leitungen von kleinerer Weite herzustellen, obwohl dadurch die Baukosten erheblich vermehrt werden.

Zur Erläuterung des Gebrauches der Tabelle III will ich noch einige Zahlenbeispiele anführen.

Welche Wassermenge kann eine Rohrleitung liefern, welche eine Lichtweite von 600 mm und ein Gefällverhältnis von 1 : 1000 hat? Von dem in den beiden ersten Spalten stehenden Gefällverhältnis 1 : 1000 = 0,001 geht man auf derselben Linie nach rechts bis zur Spalte, an deren Kopf die Lichtweite 600 steht, und findet hier das Gesuchte, nämlich 211 Sekundenliter Wasser mit 0,75 m Geschwindigkeit.

Welches Gefällverhältnis ist anzuwenden, um mit einer Lichtweite von 200 mm eine Wassermenge von 15 Sekundenliter zu fördern? Man rückt in der Spalte, an deren Kopf 200 mm steht, so weit herab, bis man auf eine entsprechende Wassermenge stösst, und geht dann von dieser auf derselben Linie nach links bis zu den beiden ersten Spalten, wo das Gefällverhältnis steht; im gegebenen Falle also 1 : 450 = 0,00222.

Welche Lichtweite muss eine Rohrleitung erhalten und welches Gefällverhältnis, wenn die Geschwindigkeit etwa 1,0 m und die Liefermenge 60 Sekundenliter beträgt? Man sucht, von links nach rechts und von oben nach unten vorrückend, auf Tabelle III unter den hier verzeichneten Geschwindigkeiten, welche annähernd gleich 1,0 m sind, diejenige aus, welcher nebenstehend eine Wassermenge von 60 Sekundenliter beigefügt ist. Die Geschwindigkeiten, welche annähernd gleich 1,0 m sind, sind in der Tabelle durch stärkeren Druck hervorgehoben. Im gegebenen Falle erhält man auf diese Weise eine Lichtweite von 275 mm mit einem Gefällsverhältnis = 1 : 175. In der Tabelle sind grössere Geschwindig-

keiten als 2,0 m und kleinere als 0,40 m nicht mehr enthalten, weil diese für Druckwasserleitungen nicht angewendet werden. Verzweigt sich die Zuleitung nach dem Entnahmegebiete in mehrere Leitungen, so ist jede von diesen nach der zu fördernden Wassermenge und dem verfügbaren Gefälle wie oben angegeben zu berechnen, sowie auch die einzelnen Abschnitte der Stammleitung zwischen den Einmündungen der Zweigleitungen wegen der verschiedenen Fördermengen besonders zu berechnen sind, wobei sich alle die oben berührten Erwägungen, ob Gefäll- oder Druckleitung anzuwenden ist, wiederholen können, je nachdem die Geländeverhältnisse gleichmässige oder stets wechselnde sind. Besteht danach die Zuleitung streckenweise aus Gefäll- und aus Druckleitungen, so sind an deren Anschlusspunkten Übergangsschächte in die Leitung einzuschalten, welche Überlauf, Entleerung, sowie einen Absperrschieber vor der Mündung der aus dem Schachte abführenden Leitung regeln. An den Mündungen der Zweigleitungen in die Stammleitung ist über beide Leitungen ebenfalls ein Schacht zu bauen mit derselben Überlaufs-, Entleerungs- und Absperrvorrichtung wie oben erwähnt. Ist die Stammleitung eine Druckleitung, so kann auch die Zweigleitung nur als Druckleitung in diese einmünden; sowie eine Gefällleitung wieder nur mit einer andern Gefällleitung sich vereinigen kann. Die Zweigleitung ist möglichst derart im Querschnitt und Gefälle anzulegen, dass das Wasser derselben bei der Einmündung in die Stammleitung mit derselben Druckhöhe anlangt, wie das Wasser der Stammleitung. Dieses Zusammentreffen unter gleicher Druckhöhe lässt sich nur erreichen, wenn die Fördermengen der Stamm- und Zweigleitung immer gleich gross bleiben, was jedoch in Wirklichkeit nie der Fall ist. Mit dem Wechsel der Fördermengen tritt auch immer Verringerung oder Vergrösserung des Druckverlustes ein, so dass unter Umständen an der Einmündungsstelle eine Aufstauung des Wassers in der Zweigleitung oder umgekehrt in der Stammleitung stattfinden könnte. Bei Gefällleitungen und Druckleitungen schützt man sich gegen übermässige Anstauungen durch Überläufe, welche bei den Gefällleitungen schon in dem Schachte über der

Mündungsstelle und bei Druckleitungen am obern Ende derselben angebracht werden. Bei Gefällleitungen legt man die Zweigleitungen an der Mündung in den Stamm in solche Höhe, dass der Wasserspiegel bei dem höchsten Wasserstande, also in der Höhe des Überlaufes, für Stamm- und Zweigleitung in gleicher Ebene liegt. Will man bei Druckleitungen einen Überlauf an den obern Endpunkten vermeiden, schon wegen der damit verbundenen Wasserverluste, so muss man die Vereinigung von 2 oder mehreren Druckleitungen durch einen Sammelbehälter bewirken, der eine solche Höhenlage hat, dass selbst bei dessen höchstem Wasserstande kein schädlicher Rückstau in die einmündenden Leitungen stattfinden kann; andrerseits muss aber auch dieser Sammelbehälter mit der Sohle in solcher Höhenlage sich befinden, dass selbst bei dem geringsten voraussichtlichen Wasserzufluss aus den Zuleitungen der Wasserspiegel nicht unter die Sohle sinkt. Die Sohlenhöhe dieses Druckverteilungsbehälters ist daher bestimmt durch das Gefälle, welches erforderlich ist, um die voraussichtlich geringste Wassermenge vom Druckverteiler durch die Stammleitung bis zum Sammelbehälter vor dem Versorgungsgebiete zu leiten, ist also von der Länge und der Lichtweite dieser Stammleitung und von der Höhenlage des Sammelbehälters vor dem Versorgungsgebiete abhängig. Der höchste Wasserstand im Verteilungsbehälter ist durch die Gefällhöhe bestimmt, welche erforderlich ist, um die grösste, voraussichtlich dem Druckverteiler zufliessende Wassermenge von diesem nach dem Sammelbehälter vor dem Versorgungsgebiete abzuführen. Nach Gleichung 17c S. 91 ist $G_v = \frac{H}{L} = \frac{2{,}30 \, . \, M^2}{w^2 \, . \, R^5}$, daher verhalten sich die erforderlichen Nutzgefälle für eine Wasserförderung M und M_1 durch ein und dieselbe Leitung

$$\frac{G_v}{G_{v1}} = \frac{M^2}{M_1{}^2} \text{ oder } \frac{H}{H_1} = \frac{M^2}{M_1{}^2}; \text{ und } H_1 = \frac{H \, . \, M_1{}^2}{M^2}.$$

Daraus ergibt sich die Höhe des höchsten Wasserstandes über der Sohle des Verteilungsbehälters,

$$\text{zu } (H_1 - H) = H \left(\frac{M_1{}^2}{M^2} - 1\right).$$

Für grosse Unterschiede in der Wasserförderung M_1 und M fällt daher der Unterschied zwischen den Betriebsgefällen $H_1 - H$ ebenfalls sehr gross aus, und der Behälter müsste in diesem Falle eine ebenso grosse Wassertiefe erhalten. Man bestimmt daher zunächst nur den höchsten Wasserstand des Druckverteilers entsprechend der grössten voraussichtlichen Fördermenge und soweit dies das verfügbare Gefälle von dem Entnahmegebiet bis zu diesem Behälter gestattet. Die Sohle legt man dann 2—3,0 m tiefer, so dass die weitere Absenkung des Wasserspiegels, bei grösserer Abnahme der Fördermenge, unter die Behältersohle in die Druckrohrleitung selbst sich erstreckt bis zur Erreichung des erforderlichen Betriebsgefälles.

Der Fassungsraum der Druckausgleichungsbehälter kann ein sehr mässiger sein, da die aus dem Entnahmegebiete zufliessenden Wassermengen nicht sehr rasch zunehmen und ebenso wieder abnehmen, sondern nur allmählich sich verändern, so dass im Laufe eines Tages grosse Unterschiede nicht bemerkbar sind, eine Ausgleichung für tägliche Schwankungen der Zuflussmengen also nicht erforderlich ist. Der Druckausgleicher hat hauptsächlich genügenden Raum für die Unterbringung der Überlaufs- und Entleerungsvorrichtung, sowie der Absperrschieber für die ein- und ausmündenden Leitungen zu bieten; der Raum muss frostsicher und für Handhabung aller Absperrvorrichtung bequem zugänglich sein. Ausser den oben genannten Übergangs- und Kreuzungsschächten müssen über sehr langen Druckleitungen stellenweise, etwa in Entfernungen von 1000 m, noch besteigbare Schächte gebaut werden, in welchen zwei Absperr- und ein Entleerungsschieber, sowie ein Luftventil untergebracht werden können, damit man behufs Vornahme von Ausbesserungsarbeiten an der Zuleitung nicht nötig hat, diese ganz zu entleeren.

Die Wiederfüllung grosser und weiter Zuleitungen mit Wasser erfordert nämlich längere Zeit, da sie vorsichtig und langsam von statten gehen muss; dementsprechend würde auch eine längere Unterbrechung der Wasserversorgung die Folge einer Ausbesserung mit Entleerung sein; um diese Unterbrechungen möglichst zu kürzen, zerlegt man die Gesamtleitung durch Ab-

sperr- und Entleerungsvorrichtungen in einzelne kürzere Abschnitte.

Bei den Gefällleitungen fällt die Drucklinie in den freien Wasserspiegel der Leitung und bildet eine einzige gerade Linie vom Anfang bis zum Ende der Leitung, wenn deren Querschnitt und die Wassermenge stets dieselben bleiben; sie wird eine aus mehreren Geraden verschiedener Richtung zusammengesetzte Linie, wenn Querschnitt und Wassermenge streckenweise sich ändern.

Bei Druckleitungen liegt die Drucklinie über der Leitung und bildet hier ebenso eine einzige gerade Linie oder eine zusammengesetzte wie bei den Gefällleitungen; auf die Bildung der Drucklinie ist hier aber noch ein weiterer Umstand von Einfluss, das ist der Verlauf der Leitung in senkrechtem Sinne, der bei Druckleitungen häufig ein sehr mannigfaltiger, auf- und absteigender ist, während die Gefällleitung nur eine allmählich abwärts gehende Richtung hat. Dieser Umstand ist zu berücksichtigen, wenn man die Drucklinie in den senkrechten Längenschnitt einer Leitung einzeichnet, und wenn hier die Länge der Leitung durch deren Horizontal-Projektion, ihren Grundriss, dargestellt wird, wodurch die Längen der stark auf- und absteigenden Strecken sehr verkürzt erscheinen. Die Drucklinie erhält dann auf diesen verkürzten Strecken einen grösseren Neigungswinkel als auf den wenig ansteigenden Strecken. Wickelt man jedoch die Leitung in ihrer wirklichen Länge auf, so erhält man für eine Leitung von gleicher Lichtweite und Fördermenge eine Drucklinie, die aus einer einzigen Geraden besteht.

In Fig. 147 (Tafel XIV) ist eine derartige Aufwickelung einer ausgedehnten Leitung in einer wagrechten Linie mit Profilzeichnung der Höhenlage, bezogen auf einen gemeinschaftlichen Horizont, gezeichnet. Die Leitung ist mannigfaltig gegliedert und verzweigt nach dem Entnahmegebiet in mehrere Haupt- und Zweigleitungen, welche sich in einem Ausgleichungsbehälter vereinigen, von wo aus die Stammleitung in ein und derselben Lichtweite bis zum Betriebs-Sammelbehälter vor dem Versorgungsgebiete sich erstreckt. Eine grosse Strecke dieser Stammleitung liegt in

erheblich tief unter der Drucklinie sich hinziehendem Gelände, so dass, wenn es z. B. nötig wird, den Wasserlauf vor Erreichung des Betriebs-Sammelbehälters zu sperren, dieser tief liegende Teil der Leitung unter dem vollen Drucke des Ausgleichungsbehälters stehen würde, der beträchtlich höher ist als der Betriebsdruck.

Um diese höhere Inanspruchnahme im erwähnten Falle einer erforderlichen Sperrung der Leitung zu vermeiden, ist von diesem tief gelegenen Teile der Hauptleitung ein Seitenrohr von gleicher Lichtweite abgezweigt, an einer benachbarten Anhöhe bis zu deren Gipfel in die Höhe geführt, wo es in einem senkrecht aufsteigenden Standrohre endigt. Dieses Standrohr erhebt sich mit seiner oberen Mündung bis zu der Höhe, welche dem an der Abzweigungsstelle vorhandenen Betriebsdrucke entspricht, d. h. die genannte Standrohrmündung liegt in der Drucklinie senkrecht über der Abzweigungsstelle. Die Standrohrmündung liegt über einem kleinen Wasserbehälter, von welchem ein Abflussrohr das sich in den Behälter ergiessende Wasser abwärts nach einem Entwässerungsgraben führt. Um das Standrohr zu befestigen und ihm eine frostsichere Lage zu geben, sowie den Wasserbehälter zu stützen, ist ein Turm aus Holz oder besser aus Mauerwerk errichtet, in welchem eine Treppe den Aufstieg ermöglicht. Wird nun die Hauptzuleitung an einem Punkte zwischen diesem Standrohre und dem Betriebs-Sammelbehälter des Versorgungsgebietes abgesperrt, so erhebt sich das Wasser in dem Standrohre über dessen obere Mündung und ergiesst sich in den Abflussbehälter, so dass in dem vom Zulaufe nicht abgesperrten Teile der Hauptleitung die Druckverhältnisse dieselben bleiben, wie bei ungestörtem Betriebe; eine höhere Inanspruchnahme der Leitung ist ausgeschlossen. Diese Sicherheits-Standröhren zur Verhütung der Drucksteigerung verursachen gewöhnlich grosse Anlegekosten und werden deshalb nur dann angewendet, wenn die mögliche Drucksteigerung ernstliche Gefahren für die Dichtigkeit der Leitung veranlassen kann.

Sowie man in den Tiefpunkten einer sehr langen Zuleitung Entleerungen zur zeitweisen Durchspülung der Leitung anbringt, so versieht man die Scheitelpunkte der Leitung mit Luft-

ventilen, selbstthätig oder von Hand zu öffnen, um Luftansammlungen an diesen Punkten zu verhüten. Zweckmässig werden diese Luftventile auch in gemauerten Schachten untergebracht, oder man setzt sie auf im Rohrscheitel angeschraubten Standröhren unmittelbar unter die Geländeoberfläche und überdeckt sie mit einer gusseisernen Klappe; doch ist diese Einrichtung wegen des Einfrierens der Standröhren bei Frostwetter bedenklich. Dasselbe ist zu befürchten für Lüftungsröhren, welche bei geringen Druckhöhen vom Rohrscheitel bis über die Drucklinie in die Höhe geführt werden und hier frei ausmünden; es ist dies wohl die sicherste Entlüftung, aber das Lüftungsrohr muss durch eine Ummantelung gegen Frost geschützt sein.

Um bei langgestreckten Leitungen den jeweiligen Dichtigkeitszustand prüfen zu können, bringt man innerhalb der in der Zuleitung vorhandenen Schächte am Rohre noch Hähne an, auf welche Manometer geschraubt werden können.

Hat man für die einzelnen Manometerschächte die Höhe der Drucklinie für bestimmte Fördermengen und bei gutem Zustande der Leitung genau bestimmt, so kann man durch Beobachtung der wirklich vorhandenen Druckhöhen mittels des Manometers Schlüsse auf den Dichtigkeitszustand ziehen. Zeigt nämlich der Manometer geringeren Druck, als der normale Betriebsdruck sein soll für die am Beginne der Zuleitung in diese eintretende Wassermenge, so muss in der Zuleitung oberhalb der Manometerstelle irgendwo ein Wasserverlust vorhanden sein. Macht man nun im nächsten, oberhalb gelegenen Schachte auch eine Manometerbeobachtung, und ergibt diese keine Abweichung vom normalen Betriebsdrucke, so muss der Wasserverlust zwischen den beiden Beobachtungsschächten liegen. Findet man aber auch im zweiten Schachte noch einen Druckverlust, so muss man mit der Beobachtung durch den Manometer immer weiter aufwärts dem Anfangspunkte der Leitung entgegengehen, bis man endlich eine Stelle mit normalem Druck erreicht; zwischen dieser und der vorletzten Beobachtungsstelle ist der Wasserverlust zu suchen. Je weiter man sich von der Stelle entfernt, wo der Wasserverlust stattfindet, nämlich abwärts der Stromrichtung des Wassers folgend,

desto grösser werden die Abweichungen des vom Manometer angezeigten Druckes von dem normalen Betriebsdrucke; aus der Grösse der z. B. auf 1 km sich ergebenden Druckunterschiede zweier Beobachtungsstellen kann man auf die Grösse des Wasserverlustes schliessen, da $\frac{H}{H_1} = \frac{M_1^2}{M^2}$. Am sichersten überzeugt man sich jedoch durch Vergleichung der an der Ein- und Ausmündungsstelle der Zuleitung gemessenen Wassermengen.

b) Druckrohrleitung von einem Pumpwerke bis zum Sammelbehälter.

Die Leitungen beginnen hinter dem Druckwindkessel des Pumpwerks und endigen mit der Auslaufsmündung im Sammelbehälter. Zwischen dem Windkessel und dem untern Ende der Druckleitung befindet sich ein nach aufwärts sich öffnendes Rückschlagsventil und manchmal auch noch ein Absperrschieber zu gesichertem Abschluss; ist ein solcher Absperrschieber in der Druckleitung vorhanden, so ist es rätlich, hinter demselben in der Richtung nach dem Pumpwerke noch ein entsprechend belastetes Sicherheisventil einzuschalten. Es liegt nämlich die Gefahr nahe, dass der Absperrschieber gelegentlich aus Versehen nicht geöffnet ist, so dass bei dem Anlassen der Pumpen die Verbindung mit dem Druckrohre unterbrochen ist und dadurch ein Bruch an einem Teile des Pumpwerks veranlasst werden könnte; ein vorhandenes Sicherheitsventil öffnet sich in diesem Falle und wirft Wasser aus, wodurch eine übermässige Drucksteigerung vermieden und die Maschinenbedienung zugleich auf die Unterbrechung aufmerksam gemacht wird.

Die obere Ausmündung des Druckrohres liegt entweder unmittelbar über der Sohle des Sammelbehälters, wenn das Druckrohr das Versorgungsgebiet berührt und zugleich Verteilungsrohr ist; oder sie liegt über dem höchsten Wasserstande des Behälters, wenn das Druckrohr lediglich der Wasserförderung in den Sammelbehälter dient.

Die letzte Anordnung hat den Vorteil, dass bei einer vorkommenden Undichtigkeit des Druckrohres ein Rücklauf des

Wassers aus dem Behälter in das Druckrohr nicht stattfinden kann, und dass die von den Pumpen zu überwindende Förderhöhe unabhängig von dem jeweiligen Wasserstande im Sammelbehälter, also stets gleich gross ist.

Der Verlauf einer Druckleitung soll vom Pumpwerk in stets aufsteigender Richtung zu dem Sammelbehälter erfolgen; auf- und absteigende Richtungen mit zwischenliegenden Scheitelpunkten sind zu vermeiden, wegen der hier sich ansammelnden Luft, welche den Querschnitt verengt und zu Stössen innerhalb der Leitung Veranlassung gibt. Sind solche Scheitelpunkte nicht zu vermeiden, so müssen dieselben mit sicher wirkenden Entlüftungen versehen werden. Selbstthätige Luftventile mit einem kleinen Windkessel, der eine bestimmte Luftansammlung aufnehmen kann, eignen sich am besten; sie sind in einem besteigbaren Schachte frostsicher unterzubringen.

Vom dem untern Teile der Druckleitung wird gewöhnlich eine Leitung von kleinerer Lichtweite abgezweigt, welche durch Umgehung des Pumpwerks mit dem Saugrohre verbunden ist und zu dessen zeitweiser Spülung dient; auch kann damit gelegentlich die Druckleitung entleert und zugleich dadurch durchspült werden.

Scharfe Krümmungen, in wag- und senkrechtem Sinne, sind möglichst zu vermeiden, weil dadurch die Reibungswiderstände und damit die Pumpenarbeit erhöht werden.

Bezüglich der Krümmer in den Druckleitungen ist noch besonders zu beachten, dass diese wegen der ungleichen Länge des innern und äussern Bogens einem Seitenschube unterworfen sind, der mit der Lichtweite und dem Ablenkungswinkel beträchtlich zunimmt, so dass er im stande ist, bei Muffenverbindung diese Verbindung zu lockern, d. h. durch Verschiebung der Bogenstücke, das Schwanzende aus der Muffe zu ziehen, wenn nicht eine Befestigung angebracht wird, welche diesem Seitenschube entgegenwirkt.

Bezeichnet P (Fig. 148) den Wasserdruck, welcher in der Richtung des Krümmungshalbmessers auf die Umfangswand des Rohres wirksam ist, so kann man diesen Druck an jedem beliebigen Punkte

des Umfanges zerlegen in einen der Halbierungslinie *MN* parallelen und einen darauf senkrechten Druck; der erstere sei p_1, der letztere p_2. Der Druck p_2, der von beiden Seiten der Mittellinie in entgegengesetzter Richtung gegen diese gerichtet ist, hebt sich also gegenseitig auf, so dass nur $p_1 = \cos \beta . P$ der Druck auf die Flächeneinheit ist. Dieser der Mittellinie parallele Wasserdruck p_1 wirkt auch in entgegengesetzter Richtung, nämlich auf den äussern Umfang des Bogens nach aussen und auf den innern Bogen nach innen, und zwar sind die gedrückten Flächen die auf die Mittellinie *MN* senkrechten Projektionen des äussern und innern Rohrumfanges = Sehne *AB* und Sehne *CE* mit der Höhe *D* = der Rohrlichtweite. Die Grösse der gedrückten Flächen ist demnach für den äussern Umfang

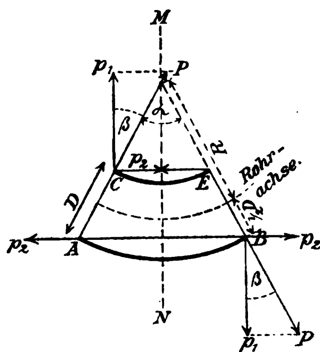


Fig. 148.

$$F_1 = AB . D = 2 \sin {}^1/_2\, \alpha\, (R + {}^1/_2\, D) . D;$$

α = Zentriwinkel des Bogens;

und R_1 = Krümmungshalbmesser der gekrümmten Rohrachse

und $F_2 = CE . D = 2 . \sin {}^1/_2\, \alpha\, (R - {}^1/_2\, D) . D.$

Der wirksame Druck an einem beliebigen Punkte ist $\cos \beta . F$; liegt der Angriffspunkt in der Mittellinie MN, dann ist $\beta = 0$ und daher $\cos \beta = 1$, sowie $F = P$; der Druck auf die beiden Flächen F_1 und F_2 ist daher, da er in entgegengesetzter Richtung wirksam ist und sich teilweise aufhebt,

$$F_w = 2 . \sin {}^1/_2\, \alpha . D\, [R + {}^1/_2\, D - R + {}^1/_2\, D] . F;$$

$$71)\ P_w = 2 . \sin {}^1/_2 . \alpha . D^2 . P.$$

Drückt man den Wasserdruck P auf die Flächeneinheit durch die Höhe H einer Wassersäule in Meter aus, so ist F = 1000 . H k, und durch Atmosphären A ausgedrückt, ist P = 10333 . A k.

Man sieht aus obiger Gleichung, dass der Krümmungshalbmesser auf die Grösse des Druckes, welcher den Bogen in der Richtung nach aussen zu schieben sucht, von keinem Einfluss ist,

sondern nur der Zentriwinkel des Bogenstückes und die Lichtweite des Rohres. Setzt man für den Zentriwinkel den sogenannten Ablenkungswinkel γ, so ändert dies an obiger Gleichung nichts, da $\gamma = 180^0 - \alpha$, also sin $^1/_2\,\gamma$ = sin $^1/_2\,\alpha$ ist.

Den Seitenschub der Bogenstücke sucht man aufzuheben durch Hintermauerung des nach der äussern Bogenlinie gekehrten Rohrumfanges, vorausgesetzt, dass diese Hintermauerung an genügend widerstandsfähigen Boden sich anlehnt; ausserdem wendet man auch eingeschlagene Pfähle an, womit die Bogenstücke verankert werden. Für die Verankerung giesst man häufig an die grösseren Bogenstücke gebohrte Laschen an.

In nebenstehender Tabelle XXII ist der Seitenschub, welcher in dem in der Mittellinie gelegenen Angriffspunkte auf die äussere Bogenlinie in der Richtung nach aussen wirksam ist, für verschiedene Rohrlichtweiten und Zentriwinkel α aufgeführt in Kilogramm für einen Wasserdruck von H = 10,0 m oder annähernd 1 Atmosphäre oder = 10 000 k auf 1 qm Fläche. Man sieht daraus, dass für grosse Lichtweiten diese den Rohrverband gefährdende Kraft sehr bedeutend wird und dass man daher für solche Rohrleitungen möglichst kleine Zentriwinkel für die Krümmungen anwenden soll, wobei ausserdem noch für eine sichere Verankerung, besonders in der Richtung der Mittellinie zu sorgen ist.

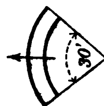
Die Lichtweite einer Pumpen-Druckleitung ist im allgemeinen nach der Fördermenge zu berechnen, welche für die Pumpen als Höchstleistung in der Zeiteinheit in Aussicht genommen wird, wobei man gewöhnlich eine Wassergeschwindigkeit von 1,0 m in der Sekunde zu Grunde legt. Aus Tabelle III erhält man leicht die gesuchte Lichtweite, wenn man in derselben bei den gross gedruckten Geschwindigkeiten von annähernd 1,0 m die verlangte Wassermenge aufsucht; am Kopfe der betreffenden Spalte ist die gesuchte Lichtweite verzeichnet.

c) Zuleitung vom Betriebssammelbehälter bis zum Verteilungsnetze oder Verteilungszuleitung.

Für diese Druckleitungen gilt im allgemeinen dasselbe, was oben unter a) und b) schon über Druckleitungen gesagt wurde.

Tabelle XXII.

Über den Seitenschub des Wasserdruckes in Bogenröhren von verschiedener Lichtweite und Grösse des Zentriwinkels, und für einen Wasserdruck von 10,0 m Wassersäule.

Bezeichnung der Zentriwinkel	Seitenschub in Kilogramm, wirksam in der Bogen-Mittellinie für untenstehende Lichtweiten in Millimetern																			
	50	80	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000
	Kilogramm																			
30°	12,9	33,0	51,7	80,7	114	160	207	260	324	393	466	635	828	1048	1294	1864	2536	3300	4193	5170
45°	19,1	50,0	76,5	119,4	172	237	306	385	478	582	689	941	1225	1550	1914	2755	3750	5000	6200	7650
60°	25,0	64,0	100,0	156,0	225	310	400	500	625	760	900	1230	1600	2025	2500	3600	4900	6400	8100	10000
90°	35,3	90,5	141,4	221,0	318	438	565	710	884	1075	1273	1739	2263	2864	3535	5090	6929	9050	11453	14140

Im Besondern ist zu erwähnen, dass sie meist in starkem Gefälle nach dem Versorgungsgebiete zu liegen, weil die Sammelbehälter in der Regel Hochbehälter sind. Im Sammelbehälter liegt die obere Mündung des Zuleitungsrohres unmittelbar über dessen Sohle, um den Wasserinhalt des Behälters voll ausnützen zu können; zur Ablagerung von Sinkstoffen bringt man unter dieser Mündung in der Behältersohle eine kleine Versenkung von 0,50 m Tiefe an. Im Verlaufe des Betriebes kann es öfter vorkommen, dass die Verteilungszuleitung ganz oder teilweise entleert wird und dass bei der Wiederfüllung derselben die Luft aus der entleerten Strecke muss entweichen können. Weil nun in dem Hochbehälter der höchste Punkt der Leitung liegt, so sucht die Luft, die immer aufwärts steigt, hier auszutreten, ist aber, weil die Rohrmündung auf der Sohle unter dem Wasser liegt, daran verhindert. Die vorgetriebenen Luftblasen werden daher zusammengepresst, bis ihre Spannung den Wasserdruck über der Rohrmündung im Behälter übersteigt, worauf die Luft sich gewaltsam Bahn durch das Wasser bricht.

Dies gewaltsame Austreten der Luft ist immer von Wasserschlägen in der Leitung begleitet, welche mit Rücksicht auf den dichten Zustand derselben vermieden werden müssen. Man bringt daher gewöhnlich das Zuleitungsrohr vor dessen Ausmündung im Behälter noch mit einem Lüftungsstandrohre in Verbindung, welches mit seiner oben freien Mündung bis über den höchsten Wasserstand im Behälter reicht, oder zugleich auch als Überlaufsrohr für diesen dient. Bei einer neuen Füllung der Verteilungszuleitung wird dann die im Behälter liegende Mündung durch einen Absperrschieber, der zwischen dieser und dem Standrohre eingeschaltet ist, nahezu ganz geschlossen, so dass bis zur gänzlichen Rohrfüllung der Wasserinhalt des Behälters von der Zuleitung getrennt ist und demnach die in der Zuleitung durch die Wasserfüllung nach oben verdrängte Luft durch das Standrohr frei entweichen kann. Die Füllung der Leitung mit Wasser muss dabei von oben aus dem Vorrat des Behälters geschehen, wenn nicht eine Umgangsleitung vorhanden ist, welche das Wasser aus der Zuleitung von dem Entnahmegebiet unmittelbar in die Verteilungszuleitung liefern kann. Immer muss die Füllung aber vorsichtig und in dem Masse vorgenommen werden, dass dabei der Rohrquerschnitt von dem zufliessenden Wasser nur teilweise gefüllt wird, so dass die aufsteigende Luft darüber hinwegstreichen kann.

Die Arbeit der Füllung wird wesentlich gefördert, wenn man bei langen Zuleitungen einige Luftventile streckenweise anbringt; man erzielt dadurch rascheren Luftabzug und kann dabei zugleich den Fortschritt der Füllung beobachten. Letzteres ist auch durch Verbindung eines Manometers mit dem untern Teile des Zuleitungsrohres zu ermöglichen, wenn man mit der Druckzunahme des Manometers zugleich die verschiedene Höhenlage der Leitung in ihrem Verlaufe berücksichtigt.

Für grössere Versorgungsgebiete legt man häufig zwei Verteilungszuleitungen an, damit bei vorkommenden Unterbrechungen an der einen Leitung, die andere Leitung noch die Wasserversorgung in Betrieb erhält. Je nach den örtlichen Verhältnissen liegen beide Leitungen nebeneinander in einem Rohr-

graben, oder sie gehen nach verschiedenen Richtungen auseinander, um von verschiedenen Seiten das Wasser dem Verteilungsnetze zuzuführen, was im Interesse möglichst gleichmässiger Wasserverteilung erwünscht ist. Der Anschluss der Zuleitungen an das Verteilungsnetz ist gewöhnlich ein unvermittelter, oder es ist höchstens ein sogenannter Teilkasten an der Verbindungsstelle eingeschaltet, so dass das Verteilungsnetz gleichsam eine Fortsetzung der Zuleitung bildet.

Die Lichtweite der Verteilungszuleitungen ist nach dem grössten Stundenverbrauch des grössten Tagesverbrauches zu berechnen, unter Zugrundelegung einer Wassergeschwindigkeit von 1,0 m. Ist T_m der durchschnittliche Tagesverbrauch im Laufe eines Jahres, so ist der grösste Tagesverbrauch im Sommer $= 1,5 \cdot T_m$ und der grösste Stundenverbrauch $= \frac{1,5 \cdot T_m \cdot 1,5}{24}$, dem ein Sekundenverbrauch von $\frac{2,25 \cdot T_m}{86400}$ entspricht. Auch hier kann also mit Hilfe der Tabelle III die erforderliche Lichtweite leicht gefunden werden.

Besteht die Zuleitung aus einem Doppelstrange, so erhält jeder Einzelstrang eine Lichtweite, welche der halben, oben berechneten Sekundenmenge entspricht, so dass im Falle der Unterbrechung einer der beiden Leitungen, die andere das Wasser mit vermehrter Geschwindigkeit liefern muss, um dem höchsten Bedarfe zu genügen. Dies ist ausführbar, weil das Versorgungsgebiet beträchtlich tiefer als der Hochbehälter liegt, also hier immer ein gewisser Drucküberschuss vorhanden ist; die Geschwindigkeitserhöhung ist auch statthaft, weil sie äusserstenfalls 2 m nicht überschreitet und auch nur für ganz kurze Zeit in Anwendung kommt.

2. *Die Verteilungsleitungen.*

a) Das Verästelungssystem.

Nach diesem System wird das Wasser durch einzelne Leitungen, die von den Hauptleitungen abgezweigt sind, unter sich aber nicht in Verbindung stehen, den einzelnen Bedarfsstellen zu-

geführt; die Lichtweite dieser Zweigleitungen ist entsprechend der Abnahme des Wasserbedarfes gegen das Ende der Leitung abgestuft.

Jede Zweigleitung erhält nächst der Abzweigstelle an dem Hauptrohre einen Absperrschieber, um nach Bedarf jede Leitung aus dem Betriebe ausschalten zu können. Das ganze Netz breitet sich von der Stammleitung über das ganze Versorgungsgebiet aus, wie die Äste und Zweige eines Baumes; diese Äste und Zweige werden mit der Entfernung von dem Stamme immer schwächer. Das Wasser verkehrt in den Leitungen nur nach einer Richtung, nämlich in der Richtung von dem Stamme nach den Endpunkten. Die Wasserzuführung zu den einzelnen Bedarfsstellen lässt sich nach dem Verästelungssystem mit dem geringsten Aufwande an Rohrleitungen, sowohl bezüglich deren Länge, als auch bezüglich deren Lichtweite ausführen. Es hat dies System jedoch auch beträchtliche Nachteile, denn die Endstrecken der Zweigleitungen führen häufig schmutziges Wasser, weil infolge der einseitigen Stromrichtung des Wassers nach den Endstrecken alle vorkommenden Ablagerungen dahin geschoben werden; es ist deshalb nötig, dass mit dem Endpunkte der einzelnen Leitungen eine Auslaufsvorrichtung, wie ein Brunnenständer für öffentliche Wasserentnahme, oder, wo dies nicht angängig ist, ein Hydrant verbunden wird. Der Brunnenständer setzt das Wasser infolge seiner Benutzung fortwährend in Bewegung, während der Hydrant von Zeit zu Zeit geöffnet werden muss, um etwaige Ablagerungen in der Leitung durchzuspülen. Wasser, das nicht immer in Bewegung bleibt, sondern längere Zeit, z. B. die Nacht hindurch, im Rohre stehen bleibt, verliert auch seine Frische. Ausserdem ist mit dem Verästelungssystem noch der grosse Nachteil verbunden, dass, wenn eine Leitungsstrecke ausser Betrieb gesetzt werden muss, die davon abgezweigten Nebenleitungen ebenfalls ausser Betrieb gesetzt sind, so dass unter Umständen wegen eines geringfügigen Anlasses ein grosser Teil des Versorgungsgebietes in Wassernot versetzt wird.

b) Das Kreislaufsystem.

Bei diesem Systeme sind die einzelnen Leitungen mit einander verbunden wie die Fäden eines Netzes, dessen Maschen bald enger, bald weiter und in den verschiedensten Formen sich gestalten, je nachdem die einzelnen Bedarfsstellen gruppiert und durch Strassen von einander getrennt sind. Nur am äussersten Umfange des Netzes finden sich einzelne Zweigleitungen, die mit einem toten Ende auslaufen, weil hier eine Verknüpfung der Endpunkte zu weitläufigen Verbindungsleitungen führen würde, in deren Erstreckung kein nennenswerter Wasserbedarf vorhanden ist. Innerhalb des Netzes kommen solche sich totlaufende Zweigleitungen nur in sogenannten Sackgassen vor oder überhaupt da, wo eine Verbindung mit Nachbarleitungen wegen zwischenliegender Hindernisse unmöglich ist.

Das Rohrnetz bildet auf diese Weise einen einzigen aus Rohrleitungen zusammengesetzten Wasserbehälter, dessen Wassermasse, solange sie in Ruhe sich befindet, überall den der Höhe des Wasserstandes im Betriebssammelbehälter über der Rohrleitung entsprechenden Druck hat. Wird an irgend einer Stelle dem Rohrnetze Wasser entnommen, so verringert sich die Druckhöhe an dieser Stelle wegen des Druckverlustes, den das nun fliessende Wasser verursacht. Das Wasser strömt daher nach der Stelle mit geringem Druck von verschiedenen Seiten; da nun die Stellen, wo Wasser entnommen wird, unaufhörlichem Wechsel unterworfen sind, so ist auch der Wechsel in der Stromrichtung des Wassers ein unausgesetzter; es bewegt sich in dem unterirdischen Behälter immer in der Richtung, in welcher das meiste Gefälle, d. h. der stärkste Wasserverbrauch vorhanden ist. Daraus ergibt sich, dass das Wasser innerhalb der Leitung nirgends zur Ruhe kommt, dass also Ablagerungen sich nicht festsetzen können und ferner dass die einzelnen Leitungen sich gegenseitig ergänzen, indem ein starker Verbrauch in der einen Leitung auch einen verstärkten Zufluss aus andern Leitungen herbeiführt. Unterbrechungen des Betriebes bleiben immer nur auf einzelne, zwischen zwei Absperrschiebern liegende Leitungsstrecken beschränkt, selbst wenn dies

eine Hauptleitung ist, weil die damit verbundenen Nebenleitungen von anderer Richtung Wasser zugeführt erhalten.

Die grössere Leistungsfähigkeit der einzelnen Rohrleitungen durch das Zusammenwirken der Nachbarleitungen nach einer Richtung, sowie die grössere Betriebssicherheit wegen Einschränkung der Unterbrechungen sind wohl wert, für das Kreislaufsystem grössere Kosten aufzuwenden, als ein Verästelungssystem erfordern würde. Letzteres eignet sich mehr für Versorgungsgebiete von geringer Ausdehnung und wenn an den sich totlaufenden Enden für eine häufige Wasserentnahme gesorgt ist; aber selbst in diesem Falle empfiehlt es sich meistens, das Kreislaufsystem mit dem Verästelungssystem zu vereinigen.

In Fig. 149 ist ein Verästelungssystem und in Fig. 150 (S. 444) ein Kreislaufsystem dargestellt. Jede Leitung hat danach an ihrer Abzweigstelle einen Absperrschieber, ausserdem sind in den langen Leitungen noch Zwischenschieber eingeschaltet, so dass die einzelnen gesperrten Strecken möglichst klein ausfallen. Bei dem Verästelungssystem ist die Schieberverteilung einfacher, weil hier die Stromrichtung eine einseitige ist, während beim Kreislaufsystem auf die Vielseitigkeit der Stromrichtung dadurch Rücksicht zu nehmen ist, dass man an den Abzweigstellen in die Hauptleitung zwei Schieber einsetzt. Aus demselben Grunde wendet man auch bei dem Kreislaufsystem an den Abzweigstellen für Hauptleitungen sogenannte Verteilungskasten (kurz Theilkasten) an. Es sind dies gusseiserne Kasten von kreisförmigem Querschnitt, wie die Figur 151 (S. 445) zeigt, mit den entsprechenden Rohransätzen für die anzuschliessenden Rohrleitungen. Die Kasten haben gewöhnlich einen lichten Durchmesser, der zweimal so gross ist als der daran befindliche grösste Rohransatz. Oben sind sie mit einem aufgeschraubten Deckel verschlossen, in dem sich gewöhnlich ein Luftventil befindet. Die Rohransätze werden über dem Boden des Kastens möglichst hoch angebracht (die Rohrachsen alle in gleicher Höhe), wenn der Kasten zugleich ein Sammler für Sinkstoffe sein soll.

Die Höhe der Teilkasten ist in diesem Falle $2^1/_2$ bis 3mal so gross wie der Durchmesser des grössten Rohransatzes, und am Boden

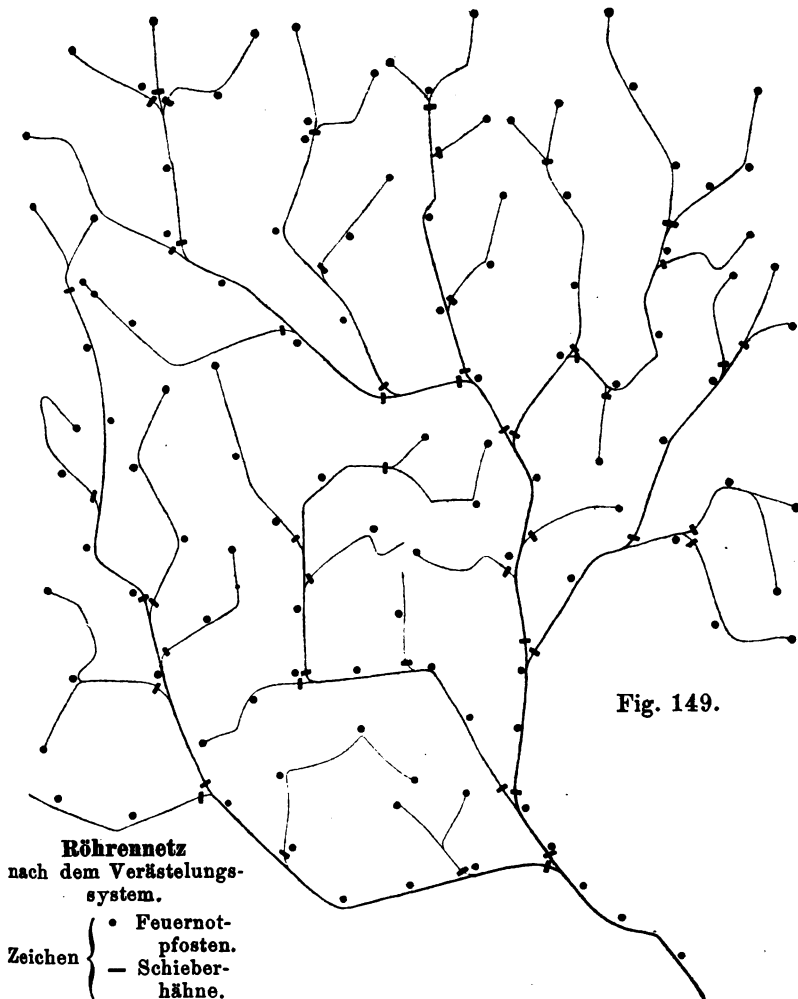


Fig. 149.

befindet sich ein Rohrstutzen mit Absperrhahn zur Entleerung; diesen Entleerungen sollte man wenigstens eine Lichtweite von 50 mm geben, da man hiermit die am Teilkasten angeschlossenen Leitungen ebenfalls entleeren und zugleich zeitweise ausspülen kann. Die Schachte, in welchen die Teilkasten mit den an dessen

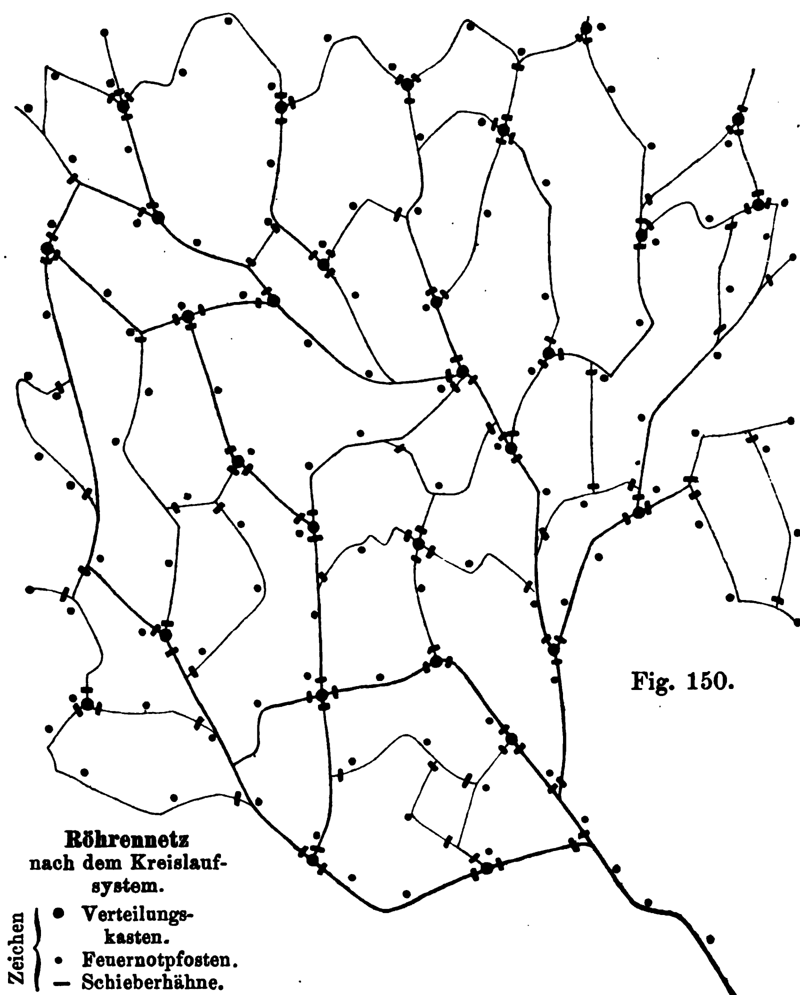


Fig. 150.

Abgangsstutzen angebrachten Schiebern aufzustellen sind, werden daher durch Entwässerungsleitungen mit dem nächsten Entwässerungskanale verbunden. Um an Kosten für den Teilkasten und den Einsteigschacht zu sparen, macht man jene auch niedriger, nämlich nur 2 . d; aber mit Entleerung sollen sie immer versehen sein.

Die Teilkasten haben hauptsächlich den Zweck, der schon durch die Bezeichnung ausgedrückt wird, die aus verschiedenen Richtungen zufliessenden Wasser in die Abflussrichtung überzuleiten, d. h. die aus verschiedenen Richtungen aufeinander stossenden Wasserläufe zu einem einheitlichen auszugleichen und die Stösse zu mildern, sowie deren Wirkung innerhalb des Teilkastens aufzuheben. Bei gewöhnlichen Abzweigröhren entstehen beim Zusammentreffen zweier, aus verschiedener Richtung kommender Wasserläufe Wirbelungen, die sich in die Rohrleitung fortsetzen.

Teilkasten.

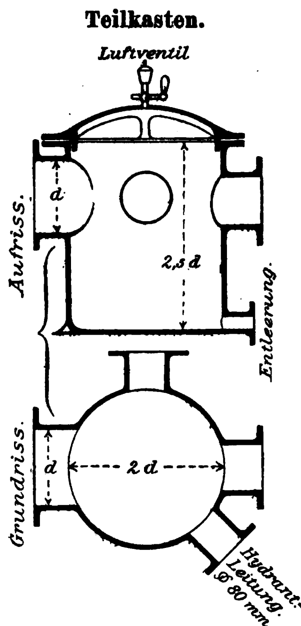


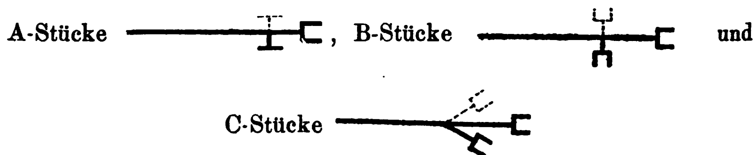
Fig. 151.

Die **Luftventile** der Teilkasten sind zur Entlüftung der Leitungen während ihres Betriebes im allgemeinen nicht erforderlich, weil die Verteilungsleitung an vielen Stellen mit Zweigleitungen nach den Bedarfsstellen, Gebäuden, Brunnen, Hydranten, verbunden sind, welche aufsteigende Richtung haben und daher etwa im Wasser vorhandene Luft zu den Zapfstellen entführen; besonders wirksam sind diese Zweigleitungen für die Entlüftung, wenn sie mit dem Hauptrohre in dessen Scheitel verbunden sind. Die Luftventile der Teilkasten sind aber sehr dienlich beim **Entleeren** und **Füllen** der Leitungen, zum Einsaugen und Abblasen der Luft und zur Erkennung der erreichten Füllung; auch können an Stelle der Luftventile **Manometer** zu Beobachtungszwecken aufgeschraubt werden.

Die **Einsteigschächte** über den Teilkasten müssen eine für die Unterbringung und Handhabung der Schieber genügende Weite haben; die geringste zulässige Weite ergibt sich z. B. aus dem Durchmesser des Teilkastens = 2,5 d + 1 d (für die Rohrstutzen) + 2 . [d + 200] (Baulänge der Schieber) = (5,5 d + 200) mm, für d = 200 demnach die Lichtweite des Schachtes = 1300 mm.

Nach oben verjüngt sich diese Weite auf 0,70 m. Die Höhe ergibt sich aus der Tieflage der Rohrleitungen. Die Abdeckung der Einsteigeöffnungen erfolgt mittels gusseiserner viereckiger Rahmen mit runder, 0,65 m weiter Öffnung und Deckel. Quadratische Öffnungen mit Deckeln sind nicht zu empfehlen, da diese bei einem Versehen in der Richtung der Diagonalen durch die Öffnung fallen und durch Absturz in den Schacht Unheil anrichten können. Die gusseisernen Rahmen mit Deckel müssen sehr kräftig sein, da die Schächte gewöhnlich in Fahrstrassen liegen; der Rahmen ist deshalb quadratisch und nicht rund, damit er sich möglichst dicht dem umgebenden Pflaster anschliesst, das ihn gegen Verschiebungen schützt. Erwähnen will ich, dass beim Besteigen von Strassenschächten, die längere Zeit nicht geöffnet waren, Vorsicht geboten ist, weil sich darin aus dem hinabfallenden Strassenschmutz und der darin immer vorhandenen Feuchtigkeit des Schwitzwassers an den kälteren Gusseisenteilen leicht Sumpfgase bilden, den Schacht füllen und beim Besteigen, sobald der Kopf in diese Stickatmosphäre gelangt, Betäubung verursachen. Ein Öffnen des Luftventils und Besprengen des Schachtinnern mit Wasser bringt die schlechte Luft in Bewegung nach oben durch die Öffnung und zieht frische Luft dafür ein.

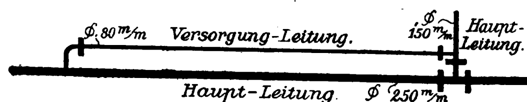
Die Teilkasten werden nur für Verbindung von Leitungen angewendet, wenn eine derselben wenigstens 150 mm hat; die kleineren Leitungen werden durch Abzweigstücke mit einander verknüpft. Bei Leitungen mit einer einzigen Stromrichtung, wie bei dem Verästelungssystem, werden keine Teilkasten benützt, und die Abzweige, die hier zur Anwendung kommen, sind nicht bloss rechtwinklige, sondern auch schiefwinklige, je nachdem die Richtung der Zweigleitung mit derjenigen der Hauptleitung einen rechten oder spitzen Winkel bildet; es können hier also sowohl



gebraucht werden.

Im Kreislaufsystem dagegen werden nur A- und B-Stücke benutzt, weil hier bald von der einen, bald von der andern Seite Wasser fliesst und der rechte Winkel die Mitte zwischen beiden Stromrichtungen hält. Ebenso kann man im Verästelungssystem wohl Doppel-A-, -B- und -C-Stücke anwenden, im Kreislaufsystem ist dies jedoch nicht zu empfehlen, weil hier der Fall eintreten kann, dass das Wasser aus beiden Zweigleitungen nach dem Hauptrohre strömt und dann beide Ströme aus den einander gegenüberliegenden Mündungen im Hauptrohre aufeinanderstossen und mit Reibungen verbundene Wirbelungen entstehen; man wird hier besser zwei einfache Abzweige hintereinander verlegen.

Die Rohrleitungen werden in den meisten Orten in die Fahrstrasse verlegt, in grossen Städten jedoch mit verkehrsreichen Strassen verlegt man dieselben auch zu beiden Seiten der Fahrstrasse in den Bürgersteig, oder man zweigt von der in der Fahrstrasse liegenden Hauptleitung an beiden Enden Rohrleitungen ab, die man dann seitlich der Fahrbahn verlegt und welche eine solche Lichtweite erhalten, dass sie dem Wasserbedarfe längs der betreffenden Strasse genügen können. Die Verlegung solcher Parallel-Leitungen für den Wasserbedarf der anstossenden Grundstücke gewährt den Vorteil, dass in breiten Strassen die einzelnen Zuleitungen zu den Privat-Grundstücken doch nicht lang ausfallen und dass das Hauptrohr von den vielen Abzweigen oder Anbohrungen für diese Grundstücke und all den damit verbundenen Zufällen verschont bleibt. Ausserdem kann man auch zu grösserer Sicherung des Wasserbezuges in der Strasse die kleinen parallelen Versorgungsleitungen an einem Ende mit der Hauptleitung der Strasse, mit dem andern Ende aber mit der Leitung einer benachbarten Strasse verbinden, wie nachstehende Skizze zeigt.



Die Hydranten sollen im allgemeinen immer mit der Hauptleitung verbunden sein, da hier bei Benutzung der Hydranten der Druckverlust nicht so gross ist als in den engeren Versorgungs-

leitungen; doch ist es zweckmässig, in langen Strassen einige Hydranten auch mit der Versorgungsleitung zu verbinden, wenn diese, wie oben skizziert, an zwei Hauptleitungen angeschlossen ist.

Liegt das Hauptrohr selbst schon seitlich der Fahrbahn, möglichst nahe dem Bürgersteige, was gewöhnlich der Fall ist, dann kann man die Versorgungsleitung der einen Strassenseite in demselben Rohrgraben, in welchem das Hauptrohr liegt, unterbringen. Der Rohrgraben ist in diesem Falle etwa 0,30 m breiter auszuheben, als dies für die Hauptleitung allein nötig wäre; das kleinere Rohr wird seitlich des grösseren gegen den Bürgersteig zu und auch höher verlegt, so dass seine Unterkante noch über der Oberkante des grösseren Rohres liegt; die grössere Grabenbreite reicht daher nur bis zur Sohle des kleinen Rohres, von da bis Unterkante des Hauptrohres erhält der Graben die gewöhnliche Breite, etwa 0,60 m. Es entsteht auf diese Weise im Graben eine Stufe von gewachsenem Boden, auf welcher das Versorgungsrohr sicher gelagert werden kann; siehe nebenstehende Skizze (Figur 152).

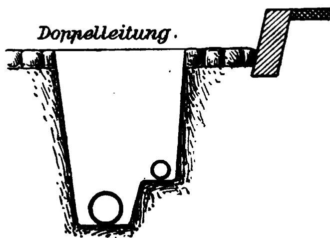


Fig. 152.

In asphaltierten Strassen Leitungen zu verlegen ist immer bedenklich, weil bei vorkommenden Undichtigkeiten das austretende Wasser, welches sich auch nach oben ausbreitet, den Asphalt nicht durchdringen kann, sondern unter diesem und unbemerkt den Untergrund durchzieht und in benachbarte Keller dringen kann; gewöhnlich ist der Schaden schon beträchtlich, bis man denselben überhaupt gewahr wird. In gepflasterten oder beschotterten Strassen tritt das Wasser durch die Fugen zwischen den Steinen alsbald zu Tage und gibt Kunde von der entstandenen Undichtigkeit, so dass in der Regel der Übelstand beseitigt werden kann, ehe grosser Schaden angerichtet ist.

In derartig wasserdicht befestigte Strassenoberflächen sollte man deshalb keine Leitungen verlegen, sondern diese im Bürgersteige unterbringen; ist dieser aber auch asphaltiert, so muss die

Asphaltdecke über der Leitung unterbrochen und durch Pflasterung oder Plattenbelag ersetzt werden. —

Die Rohrleitungen in unterirdische, gemauerte Kanäle zu verlegen, ist schon wegen der grossen Kosten hierfür nur in Ausnahmefällen ausführbar, wie z. B. bei Eisenbahnunterfahrungen. Die Kanäle müssen jedenfalls so viel Raum bieten, dass darin alle Ausbesserungs- und Anschlussarbeiten ohne Schwierigkeit vorgenommen werden können; ausserdem muss durch entsprechendes Sohlengefälle und durch Anschluss des Kanals an eine Entwässerung dafür gesorgt sein, dass austretendes Wasser der Leitungen genügend raschen Abschluss findet.

Haben die einzelnen Teile eines Versorgungsgebietes wesentlich verschiedene Höhenlagen, so kann es unter Umständen zweckmässig sein, diese Gebietsteile durch besondere Rohrnetze zu versorgen, indem jedes solche Netz eine eigne Betriebszuleitung aus dem Entnahmegebiet erhält, welche der verschiedenen Höhenlage entsprechend anzulegen ist. Wird das Wasser aus dem Entnahmegebiet mittels natürlichen Gefälles zugeleitet, so wird eine solche mehrfache oder auch nur zweifache Anlage der Versorgungszuleitung wegen der gewöhnlich grossen Entfernung des Entnahmeortes für die Ausführung zu teuer und auch nur dann möglich, wenn das für eine Teilung der Wasserzuleitung erforderliche grössere Gefälle vorhanden ist. Auch besteht in diesem Falle der Vorteil der Einteilung des Versorgungsgebietes in zwei oder mehrere Druckzonen nur darin, dass die Niederdruckzonen das Wasser mit genügendem Betriebsdruck erhalten, ohne deren Leitungen darüber hinaus mit höherem Wasserdruck belasten zu müssen. Übersteigt jedoch der höhere Druck in den tiefsten Strecken nicht 7 Atm., so entsteht daraus keine Gefahr für die Rohrleitung, da die Röhren nach den Normalien für einen Betriebsdruck von 10,0 Atm. hergestellt und bis auf 20 Atm. geprüft werden. Solange also ein höherer Druck als etwa 7 Atm. nicht zu erwarten ist, verzichtet man besser auf eine Teilung in Druckzonen, weil ein einheitliches Rohrnetz wegen der allseitigen Unterstützung der Rohrleitungen untereinander leistungsfähiger und auch wegen der einfacheren Betriebsführung vorzuziehen ist.

Wird jedoch das Wasser aus dem Entnahmegebiet mittels Maschinenkraft dem Versorgungsgebiete zugeführt, so tritt durch die Teilung in Druckzonen eine beträchtliche Ersparnis an Betriebskosten ein, der allerdings auch ein Mehraufwand von Baukosten gegenübersteht.

Hier hängt es also von dem Ergebnis einer vergleichenden Kostenaufstellung ab, ob durch die Zonenteilung ein beachtenswerter Vorteil zu erreichen ist.

Für sehr ausgedehnte Versorgungsgebiete ist eine Teilung in verschiedene Verteilungszonen immer zu empfehlen, einerlei, ob die einzelnen Teile des Gebietes sehr verschiedene oder nur unbedeutend verschiedene Höhenlage haben. Ausgedehnte Versorgungsgebiete sind vor allem einer ununterbrochen fortschreitenden Entwickelung ihrer bebauten und bewohnten Flächen nach allen Seiten unterworfen und damit also auch einem stets wachsenden Wasserbedürfnis, so dass sich gewöhnlich die mögliche Zunahme des Bedürfnisses auf die nächsten 10 Jahre nicht annähernd vorausbestimmen lässt. Aber selbst wenn der künftige Wasserbedarf der sich ausbreitenden Ansiedelung festzustellen wäre, so würde eine dementsprechend hergestellte Stammanlage wegen der zu erwartenden erheblichen Vermehrung des Wasserverbrauches aussergewöhnlich grosse Baukosten verursachen, welche vielleicht während 15 bis 20 Jahren ganz nutzlos verzinst werden müssten. Ausserdem müsste die Stammanlage fortgesetzt immer weiter ausgedehnt werden nach den neu entstandenen Stadtteilen, was mit Rücksicht auf die grossen Entfernungen, welche sich in ausgedehnten Versorgungsgebieten ergeben, häufig sehr kostspielig wird.

Teilt man aber ein so ausgedehntes Gebiet in mehrere Zonen, wobei hauptsächlich auf die Lage des oder der Entnahmegebiete Rücksicht zu nehmen ist, so hat man zunächst nur immer eine Stammanlage für einen schon in seinen Bebauungs- und Wohnungsverhältnissen übersehbaren Gebietsteil herzustellen; die anderen Gebietsteile erhalten dann später, wenn auch ihre Entwickelung schon bestimmt und klar zu erkennen ist, ebenfalls ihre Stammanlage, die möglichst unmittelbar mit dem Entnahmegebiete in Verbindung steht. Beträchtliche Bausummen werden erst dann aufgewendet,

wenn sie auch schon nutzbringend sind. Diese einzelnen Verteilungsbezirke oder Zonen werden stellenweise mit einander verbunden, so dass sie sich gegenseitig unterstützen können, wenn die Umstände dies verlangen. Die Wasser- und Druckverteilung ist in einem derartig aus einzelnen Bedürfnisgruppen zusammengesetzten Rohrnetz mit mehrfachen Zuleitungen aus den Entnahmegebieten eine viel gleichmässigere, als wenn das Wasser von einer einzigen Stammanlage, gleichsam nach der Mitte des Versorgungsgebietes und von dieser wieder nach dem Umfange geleitet werden muss.

In Berlin bezeichnet man diese Versorgungsgruppen als Radialsysteme, welche Bezeichnung zu der irrigen Annahme verleitet, als ob die einzelnen Systeme oder Gruppen strahlenförmig, wie die Radien, von einem Mittelpunkte ausgingen. Die Aneinanderreihung der einzelnen Versorgungsgruppen erfolgt jedoch nicht in einer solchen geometrischen Figur, sondern auf sehr mannigfaltige Weise, je nach der Entwickelung des ursprünglich vorhandenen, bebauten und bewohnten Gebietsteiles.

Jedes Versorgungsgebiet oder jede Gruppe ist zur Bestimmung des Wasserbedarfes wieder in einzelne Verteilungsgruppen zu zerlegen, und dieser Wasserbedarf ist im allgemeinen durch die Dichtigkeit der Bevölkerung einerseits und durch deren Lebensgebarung andrerseits bedingt. Die inneren Stadtteile, wo der Verkehr auf wenige Strassen zusammengedrängt wird, jede Bodenfläche mit Wohn- oder Geschäftsräumen überbaut ist, haben eine sehr dichte Bevölkerung, für geschäftliche und öffentliche Zwecke grossen Wasserverbrauch. An den äusseren Umfang dieser Verkehrs- und Geschäftsstadt schliesst sich gewöhnlich entweder ein Stadtteil behaglicher Wohnhäuser mit Vorgärten, grösseren Höfen und sogar Gärten, schönen, breiten Strassen an, oder statt der behaglichen Wohnhäuser mit Gärten findet man dampfende, lärmende Fabriken und die sie umgebenden Wohnstätten der Beamten und Arbeiter. Der äusserste Umfang der Grossstadt ist teils nur von Stätten industrieller Thätigkeit oder landwirtschaftlicher Betriebe, untermischt mit Landhäusern und Gärten, umsäumt. Die natürliche Entwickelung der Grossstadt schafft auf

diese Weise ziemlich abgegrenzte Verteilungsgebiete mit ganz verschiedenem Wasserbedürfnis. Ist nun ein Versorgungsgebiet in seine verschiedenen Verteilungsgruppen zerlegt und der durchschnittliche tägliche Wasserbedarf für 1 ha Stadtfläche nach Maassgabe der Bevölkerungsdichtigkeit der einzelnen Gruppen ihrer Lebensführung und gewerblichen Thätigkeit bestimmt, so kann man nun die Berechnung der erforderlichen Rohrlichtweiten vornehmen. Die Stammleitung wird möglichst durch die Mitte des Versorgungsgebietes geführt, so dass die verschiedenen Teile dieses Gebietes nach allen Seiten auf kürzestem Wege von den Neben- und Zweigleitungen erreicht werden können.

Für die Leitung des Verästelungssystems ergibt sich die Rohrlichtweite aus dem in Betracht kommenden Wasserbedarfe sehr einfach. Zunächst kommt in Betracht, dass alle Verteilungsnetze in Entfernungen von 60 bis 100 m mit Hydranten ausgestattet sind, die zu Löschzwecken in höchstem Maasse in Anspruch genommen werden. Ein Hydrant soll wenigstens 4 Sekundenliter Wasser liefern, und dabei soll die Geschwindigkeit in der Rohrleitung 1,0 m sein. Unter diesen Bedingungen muss die Rohrleitung zu 1 Hydranten eine Lichtweite von 80 mm D. haben; für 2 Hydranten mit 8 Sekundenliter ist die Lichtweite 100 mm D., und für 3 Hydranten mit 12 Sekundenliter 125 mm D. Die Hydranten sind durchschnittlich 80 m von einander entfernt, also liegt zwischen 3 Hydranten eine Strecke von 160 m, woraus sich weiter ergibt, dass bei einem Brande wenigstens 3 der nächsten Hydranten gleichzeitig in Benutzung kommen können, die Leitung also dementsprechend leistungsfähig sein muss.

Ist die Leitung, wie im Verästelungssysteme, eine totlaufende mit einseitiger Stromrichtung, so erhält man bei 80 m Hydrantenentfernung für die Endstrecke von 80 m eine Lichtweite von 80 mm D., und für die vorhergehenden 80 m 100 mm D., dann erhält die Leitung 125 mm Lichtweite, vorausgesetzt, dass der von dieser Leitungsstrecke zu befriedigende Haus- und gewerbewirtschaftliche Wasserbedarf den erwähnten Hydrantenverbrauch von 4, 8 und 12 Sekundenlitern nicht übersteigt, was gewöhnlich

der Fall ist. Nimmt man z. B. den durchschnittlichen Tagesverbrauch für den Kopf der Bevölkerung zu 100 l an, so ist der grösste Stundenverbrauch, nach welchem die Lichtweite zu berechnen ist, $\frac{225}{24}$, und der Sekundenverbrauch auf den Kopf $\frac{225}{24 \cdot 3600}$; daraus ergibt sich, dass für den Verbrauch von 1 Sekundenliter rund 400 Personen erforderlich sind. Für 4 Sekundenliter des ersten Hydranten 1600, für die zweite Strecke mit 2 Hydranten 3200 Köpfe der Bevölkerung u. s. w. Man sieht, dass eine derartige Kopfzahl auf den kurzen Strecken von 3 . 80 = 240 m an einer Strasse nicht zusammengedrängt sein kann. Ein höherer Verbrauch als der Höchstbedarf der Hydranten kann also nur durch Fabriken und Anstalten mit besonders grossem Wasserverbrauch veranlasst sein.

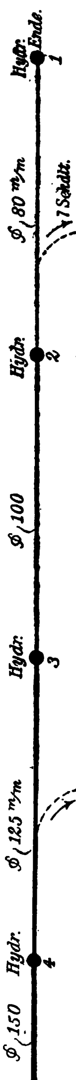


Fig. 153.

Man kann demnach, wenn die Leitungen für die Speisung der Hydranten genügen, schon auf grosse Strecken den Kopfverbrauch ausser acht lassen; sobald aber der Kopfverbrauch den Hydrantenverbrauch übersteigt, ist dies Übermaass in Rechnung zu bringen. Nebenstehendes Beispiel möge dies erläutern.

Die Linie bezeichnet die Endstrecke einer totlaufenden Leitung, dieselbe erhält so die beigeschriebenen Lichtweiten im gewöhnlichen Falle, so dass der Hydrantenverbrauch den Kopfverbrauch wesentlich überwiegt. Würde jedoch zwischen dem 1. und 2. Hydranten noch eine Wasserabgabe an eine Bade- und Waschanstalt von 7 Sekundenlitern erforderlich sein, so muss die Endstrecke von 1 bis 2 statt 80 mm eine solche von 100 mm erhalten. Der Hydrantenverbrauch ist dabei nicht mitzurechnen, da bei Feuersgefahr der Privatwasserverbrauch ruht. Würde ferner zwischen 3 und 4 noch eine Leitung abgezweigt sein, woran noch ein Hydrant sich befindet, der bei Feuer mit obigen 3 Hydranten 1, 2 und 3 zusammenzuwirken hätte, dann hat die Leitungsstrecke

zwischen 3 und 4 eine Lichtweite von 150 mm zu erhalten. Führt eine Leitungsstrecke durch unbebautes Gelände und erhält deshalb sowohl jetzt als auch in den folgenden 15 bis 20 Jahren voraussichtlich keine Hydranten, so kommt für die Leistung derselben nur der in ihrem weiteren Verlaufe sich ergebende Verbrauch in Betracht. Bei Hauptleitungen, sowie bei der Stammleitung ist der Kopfverbrauch sämtlicher daran angeschlossener Zweigleitungen einschliesslich des Kopfverbrauches längs der Hauptleitung selbst in Rechnung zu setzen, sobald er den Verbrauch von 3 oder 4 Hydranten übersteigt.

Da der Kopfverbrauch aus der Bevölkerungsdichtigkeit sich ergibt und diese durch die Einwohnerzahl auf der Flächeneinheit, z. B. einem Hektar ausgedrückt wird, so lässt sich aus dem für die Flächeneinheit einer Verteilungsgruppe berechneten Kopfverbrauche dieser für jede andere Flächenausdehnung berechnen. Um nun den Kopfverbrauch längs einer Leitung zu bestimmen, ist es nötig, die Geländefläche zu kennen, welche für die Wasserversorgung durch die fragliche Leitung in Betracht kommt. Diese Fläche ermittelt man dadurch, dass man die von den Strassen umschlossenen Häuserblocks durch Halbierung ihrer Eckwinkel und Verbindung dieser Halbierungslinie durch eine Mittellinie in mehrere Teile zerlegt, deren Grösse verhältnismässig der Grösse der anstossenden Strasse ist. Die Mittellinien der Strassen bilden die Grundlinien der dadurch entstehenden geometrischen Figuren, deren Flächenausdehnung nun leicht zu berechnen ist. Die einer Strasse zufallenden Flächenteile zusammengenommen ergeben den Kopfverbrauch der Strasse, welchen die darin verlegte Leitung zu liefern hat. Durch nebenstehende Skizze (Fig. 154) ist dies Ermittelungsverfahren erläutert.

Die punktierten Linien sind die Teilungslinien der Häuserblocks, und diejenigen Blockteile, welche ein und dieselbe Strassenmittellinie als Grundlinie haben, bilden zusammen die Versorgungsfläche des betreffenden Strassenzuges. So bilden in obiger Skizze die mit gleichen Zahlen bezeichneten Blockteile eine Versorgungsfläche der anstossenden Strasse; in der Fläche ist auch die Strassenfläche mit inbegriffen. Multipliziert man die so erhaltenen

Versorgungsflächen mit der Kopfwassermenge auf 1 ha der bebetreffenden Versorgungsgruppe und schreibt diese in den oben skizzierten Verteilungsplan, so kann man bequem mit der Berech-

Flächenverteilung der Häuserblocks.

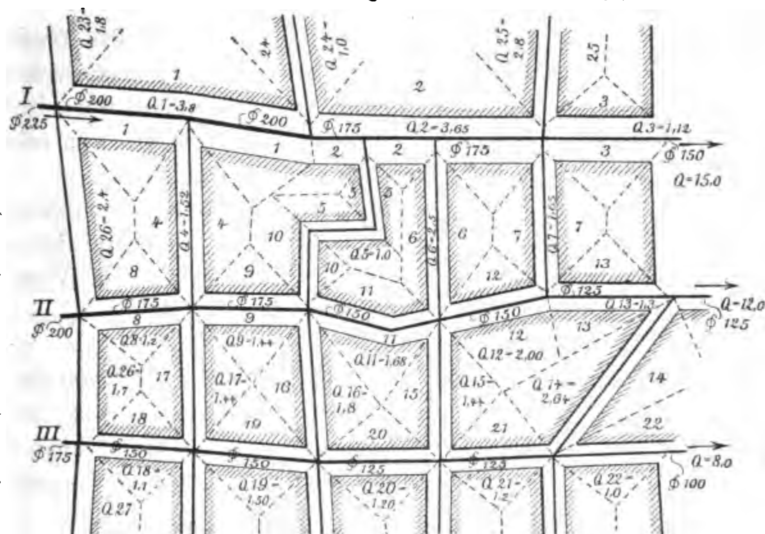


Fig. 154. (Massstab 1:10000. 1 mm = 10 m)

nung der Rohrlichtweiten, anfangend mit den totlaufenden Enden, vorgehen. In oben skizziertem Plane ist die Bevölkerungsdichtigkeit zu 400 Einwohnern auf 1 ha, der durchschnittliche tägliche Kopfverbrauch zu 100 l angenommen, so dass auf 1 ha rund 1 Sekundenliter Wasser verbraucht wird; die in der Skizze eingeschriebenen Wassermengen $Q_{1, 2, 3}$ u. s. w. sind daher Sekundenliter.

Betrachtet man die Hauptleitung I als eine in der Richtung der Pfeile totlaufende Strecke, und ebenso die von ihr abgezweigten Nebenleitungen 23, 24, 25, 4, 5, 6 und 7 als totlaufende, und nimmt man ferner an, dass die Fortsetzung dieser Hauptleitung I in der Richtung des Pfeiles bei Zweigleitung 25 schon einen Bedarf von Q_0 = 15 Sekundenliter zu befriedigen hat, und deshalb eine Lichtweite von 150 mm besitzt, so ergibt sich folgende

Rechnung zur Bestimmung der Lichtweite des Hauptrohres I auf der Strecke von Zweigleitung 23 bis 25.

1. Kreuzungspunkte 25 und 7.

Qo = 15,00 + 1,12 + 2,80 + 1,65 = 20,57 Sekundenliter.

Würde demnach die Hauptleitung von Abzweigung 7 bis 6 die Lichtweite von 150 mm beibehalten, so würde das Wasser eine Geschwindigkeit auf dieser Strecke von 1,20 m annehmen, würde man sie hier aber 175 mm weit machen, so wäre diese Geschwindigkeit etwa 0,90 m (siehe Tabelle III); man wird der grössten Sicherheit wegen 175 mm D. wählen.

Die Speisung der Hydranten an der Hauptleitung sowohl als an deren Zweigleitungen braucht nicht mehr berücksichtigt zu werden, da schon bei einer Lichtweite von 150 mm D. das Wasser für 4 Hydranten geliefert werden kann.

2. Kreuzungspunkt 24.

Qo = 20,57 + 3,65 + 2,3 + 2,0 + 1,0 = 29,52 Sekundenliter.

Vor diesem Kreuzungspunkte muss der Durchmesser demnach 200 mm sein. Der Durchmesser von 175 mm genügt bis dahin, da damit bei 1,14 m Geschwindigkeit noch 27,4 Sekundenliter geliefert werden.

3. Kreuzung bei Abzweigung 23.

Qo = 29,52 + 3,80 + 1,52 + 1,80 + 2,40 = 39,04 Sekundenliter.

Die Lichtweite von 200 mm D. genügt bis zu obiger Kreuzung, da hiermit bei 1,05 m Geschwindigkeit noch 33,1 Sekundenliter gefördert werden. Vor dieser Kreuzung muss jedoch die Lichtweite 225 mm D. betragen.

Die von der Hauptleitung abgezweigten Nebenleitungen erhalten folgende Lichtweiten:

a) Wenn damit keine Hydranten verbunden sind, z. B. wenn der Verbrauch im Verhältnis zur Länge der Leitung abnimmt.

No. 26 mit 300 m Länge und 2,4 Sekundenliter.

Auf je 100 m Länge demnach 0,8 Sekundenliter, es genügt daher

für die ersten 100 m eine Lichtweite von 40 mm D.
„ „ zweiten „ „ „ „ „ 50 „ „
„ „ dritten „ „ „ „ „ 60 „ „

b) Wenn Hydranten in durchschnittlicher Entfernung von 70 m vorhanden sind, und, da die Zweigleitung eine totlaufende, am Ende auch ein Hydrant sich befindet, so werden auf oben genannter Zweigleitung No. 26 im ganzen 3 Hydranten stehen. Die Lichtweite ist demnach:

zwischen	dem	1.	und	2.	Hydranten	80	mm D.
„	„	2.	„	3.	„	100	„ „
„	„	3.	„	4.	„	125	„ „

Die Nebenleitungen erfordern demnach bei totlaufenden Enden erheblich grosse Lichtweiten, so dass für gewöhnlich, wenn nur das Wirtschaftswasser zu liefern ist, das Wasser nur mit sehr geringer Geschwindigkeit durch die Röhren fliesst, etwa 0,20 m, und deshalb auch leicht sich Ablagerungen in den Röhren bilden können.

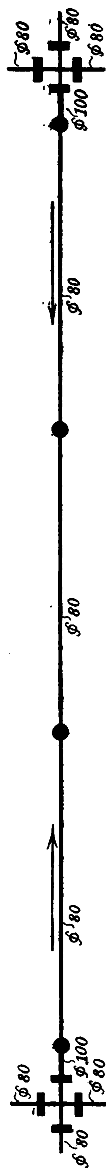


Fig. 155.

Die Feststellung der Lichtweiten macht, wie man aus vorhergehendem entnehmen kann, für Verästelungsleitungen keine Schwierigkeiten; weniger einfach liegt die Frage der Lichtweiten bei dem

Kreislaufsysteme, weil die einzelnen Leitungen sich gegenseitig unterstützen. Diese gegenseitige Unterstützung kommt hauptsächlich bei Berechnung der Lichtweiten mit Rücksicht auf die Benutzung der Hydranten zu Löschzwecken zur Geltung, indem in diesem Falle der Wirtschaftswasserverbrauch ruht, so dass den Hydranten von verschiedenen Seiten Wasser zuströmen kann.

Bei dem Zusammenwirken der in den Kreuzungspunkten nebenstehender Skizze (Fig. 155) sich vereinigenden Leitungen, würde eine Lichtweite von 80 m für jede dieser Leitungen genügen, um die zwischen den Leitungen aufgestellten 4 Hydranten genügend mit Wasser zu versehen; nur die beiden kurzen Stücke von den Kreuzungen bis zu den beiden ersten Hydranten müssen einen Durchmesser von

100 mm erhalten; beim Verästelungssystem wären Lichtweiten von 80 bis 150 mm hierzu erforderlich; selbstverständlich ist auch hier zu beachten, ob der Kopfverbrauch der fraglichen Hydrantenstrecke nicht eine grössere Lichtweite verlangt.

Die Berechnung der Lichtweite nach dem Kopfverbrauche muss auf der grössten Inanspruchnahme des ganzen Rohrnetzes beruhen, und diese tritt ein, wenn überall gleichzeitig der grösste Stundenverbrauch vorhanden ist. Setzt man diese grösste, auf das ganze Rohrnetz sich gleichmässig ausdehnende Inanspruchnahme voraus, dann ist eine gegenseitige Unterstützung der Leitung durch Wechsel der Stromrichtung ausgeschlossen, und die Leitungen können bezüglich des Kopfverbrauches gerade so berechnet werden, wie oben bei dem Verästelungssystem gezeigt wurde, also ziemlich einfach. Nur für die Leitungen, wo die Hydranten für Löschzwecke mehr Wasser beanspruchen als die wirtschaftlichen Zapfstellen, ergibt sich, wie oben durch die Skizze (Fig. 155) gezeigt wurde, eine andere Lichtweite als bei dem Verästelungssystem.

Die Rohrleitungen, welche in die Skizze der Flächenverteilung (Fig. 154) eingezeichnet sind, würden demnach folgende Lichtweite erhalten unter der Annahme, dass die Pfeile die Richtung bezeichnen, in welcher die Hauptleitungen sich von der Stammleitung entfernen.

Rohrleitung I wurde oben S. 456 schon berechnet, und für Rohrleitung II erhält man folgendes:

Von Kreuzung bei 14 bis zu der Nr. 7 genügt noch die Lichtweite von 125 mm D. und von

7 bis Abzweig. 6 ist $Q_o = 12{,}00 + 1{,}30 + 0{,}80 + 2{,}00 = 16{,}10$ Sekundenliter,

weshalb hier 150 mm D. erforderlich ist.

Die Wassermenge der Nebenleitungen wird hier nur zur Hälfte gerechnet, also für Nr. 7 statt 1,65 nur 0,80 Sekundenliter.

Von Zweigleitung 6 bis Nr. 10 und 16 ist

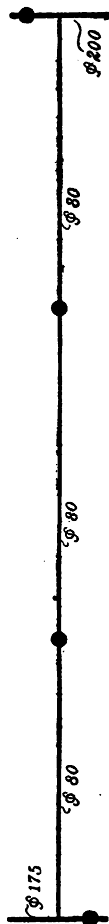
$Q_o = 16{,}10 + 1{,}15 + 0{,}72 + 1{,}68 = 19{,}65$ Sekundenliter,

hier genügt also noch 150 mm D.

Für die Strecke von Zweigleitung 10 bis 4 und 17 ist

Qo = 19,65 + 1,44 + 0,76 + 0,72 = 22,57 Sekundenliter.

Von da an muss daher die Leitung 175 mm Durchmesser erhalten.



Von Zweigleitung 4 bis 26 und 27 ist

Qo = 22,57 + 1,2 + 1,2 + 0,85 = 25,82 Sekundenliter,

es kann daher die Lichtweite von 175 mm Durchmesser noch beibehalten werden. Hinter den Zweigleitungen 26 und 27 ist sie jedoch auf 200 mm D. zu erhöhen.

Auf gleiche Weise erhält man für die Hauptleitung III die Lichtweiten 125, 150 und 175 mm D. Die Zweigleitungen, welche die Hauptleitungen mit einander verbinden, haben alle einen Kopfverbrauch, welcher unter dem eines Hydranten mit 4 Sekundenlitern bleibt; für Bestimmung ihrer Lichtweite ist daher die Hydrantenzahl maassgebend. Die Länge der Nebenleitungen ist 200 bis 250 m, daher kommen höchstens 2 Hydranten mit einer solchen Leitung in Verbindung, da ja auch in den benachbarten Hauptleitungen sich Hydranten befinden.

Wie nebenstehende Skizze zeigt, sind daher im allgemeinen Rohrleitungen von 80 mm D. genügend; nur in dem Falle, dass 3 Hydranten aufgestellt werden, müsste eine der beiden Anfangsstrecken 100 mm D. erhalten.

Die Berechnung der Rohrlichtweiten für das Kreislaufsystem ist, wenn man sie auf dem oben von mir gezeigten Wege vornimmt, auch nicht verwickelt und ergibt für alle Fälle genügend leistungsfähige Leitungen. Mit Hilfe der Tabelle III erhält man sofort jede der Normalgeschwindigkeit von 1,0 m und einer berechneten Wassermenge entsprechende Lichtweite.

Eine genaue Ausrechnung der Lichtweiten auf Millimeter hat keinen praktischen Wert, weil es vor allem unwesentlich ist, ob

das Wasser in den Röhren mit einer Geschwindigkeit von 0,90 m von 1,0 m oder 1,10 m fliesst; und dann müssen die Rohrlichtweiten ohnehin auf die handelsüblichen Durchmesser abgerundet werden. Ausserdem ist weiter zu berücksichtigen, dass es grossen praktischen Wert hat, die Anzahl der verschiedenen erforderlichen Rohrlichtweiten für ein Rohrnetz möglichst gering zu machen, weil man beim Bezuge der Röhren billigere Preise erzielen kann, wenn die Giesserei möglichst grosse Sendungen von gleicher Lichtweite machen kann, und weil ferner auch für den künftigen Betrieb und die Unterhaltung des Stadtrohrnetzes ein einfacher zusammengesetztes Lager von Ersatzröhren erforderlich ist, die Übersicht überhaupt erleichtert wird.

Hat man eine zweckmässige Führung von Stamm- und Hauptleitungen durch das Versorgungsgebiet angeordnet, den örtlichen Verhältnissen entsprechend diese in die Strassen des grössten Wasserverbrauches aufgenommen, womöglich unter einander unmittelbar oder durch Nebenleitungen der untergeordneten Strassen verbunden, so ist damit die Grundlage für Berechnung der Lichtweiten gegeben, indem man Stamm- und Hauptleitungen für sich behandelt, und ebenso die Verbindungsleitungen, wie auch die sich hauptsächlich am Umfange des Versorgungsgebietes anschliessenden totlaufenden Leitungen. In langgestreckte Strassenzüge mit voraussichtlich geringem Wasserbedarfe Hauptröhren von grosser Lichtweite zu legen, um eine sogenannte Ringleitung zu bilden, ist nicht zu empfehlen, weil in diesen Leitungen das Wasser häufig mit nur geringer Geschwindigkeit fliesst, seine Frische einbüsst und Sinkstoffe in den Leitungen ablagert. Die Lichtweite soll immer dem in etwa 15 bis 20 Jahren zu erwartenden grössten Kopfverbrauche oder dem Wasserbedürfnisse von 3 bis 4 Hydranten entsprechen.

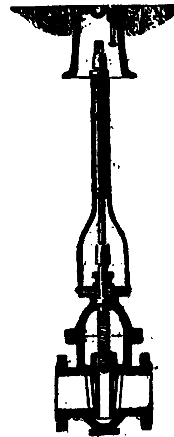
Es sind von Hydrotechnikern schon mehrfach äusserst gründliche Berechnungsmethoden, welche eine verwickelte mathematische Behandlung erfordern, ausgedacht und empfohlen worden; ich glaube aber, dass von all diesen wissenschaftlich gedachten Methoden noch keine eine nennenswerte Benützung für praktische Zwecke gefunden hat. Die Wasserbewegung in einem Rohrnetze des Kreislauf-

systemes ist sehr verwickelt und ausserdem von allen möglichen unbestimmbaren Zufälligkeiten abhängig, so dass darauf überhaupt nichts zu gründen ist; wo dies doch geschieht, baut man Luftschlösser. Dazu kommt, dass vieles, was für wissenschaftliche Betrachtungen ein unentbehrliches Glied ist, für die Praxis unerheblich, ja manchmal sogar nachteilig ist, und man auch hier sagen kann: „Das Bessere ist des Guten Feind.“

Jedes Rohrnetz ist mit verschiedenen Maschinenteilen und Apparaten für Regelung des Wasserlaufes oder der Wasserbenützung ausgestattet; nachfolgend führe ich die hauptsächlichsten an:

Die Absperrschieber.

Sie bestehen aus einem gusseisernen Gehäuse, in welchem sich ein gusseiserner, keilförmiger Schieber an einer feststehenden Schraubenspindel mittels deren Drehung auf und ab bewegt (siehe Fig. 156).


Fig. 156.

Die flachgängige Spindel hat Linksgewinde und ist aus Rotguss, sowie auch ihre Mutter, die Dichtungsringe des Schliesskeiles, das Stopfbüchsenfutter und die Stopfbüchsenmuttern. Die Steigung des Spindelgewindes ist derart, dass 20 bis 30 Umdrehungen der Spindel erforderlich sind für die gänzliche Öffnung oder Schliessung des Schiebers, so dass diese Vorgänge sehr langsam sich vollziehen und Wasserschläge dabei verhütet werden. Sitzen die Schieber in einem zugänglichen Raume, z. B. in einem Schachte, so wird die Spindel mittels eines Handrades gedreht; ist der Schieber jedoch mit der Rohrleitung wieder eingefüllt, was jedoch nur bei Schiebern kleiner Lichtweite, etwa bis 150 mm D., geschehen sollte, so erhalten dieselben eine sogenannte Einbaurüstung, bestehend aus gusseisernem Hülserohr, schmiedeeiserner Schlüsselstange und gusseiserner Strassenkappe.

Bei Bestellung von Schiebern mit Einbaurüstung ist die Höhe

der Rohrüberdeckung anzugeben, um die Länge des Hülserohres und der Schlüsselstange danach zu bemessen. Die Strassenkappen wählt man am besten mit quadratischem Querschnitt und runder Öffnung.

Das Gewinde der Spindel muss deshalb links sein, damit der Schluss des Schiebers durch Rechtsdrehen, das Öffnen durch Linksdrehen der Spindel bewirkt wird; denn die meisten Menschen sind gewohnt, beim Zudrehen rechts zu drehen und machen daher, wenn die Spindel rechtsgängig ist, aus Versehen zum Schliessen eine Rechts- statt Linksdrehung. Schieber, die in zugänglichen Räumen aufgestellt sind, erhalten häufig in Verbindung mit der Spindel eine Zeigervorrichtung, welche den jeweiligen Stand des Schiebers vom Schlusse bis zur gänzlichen Öffnung kenntlich macht; besonders in den Sammelbehältern ist eine derartige Vorrichtung wegen der hier häufigen Regelung des Wasserlaufes mittels der Schieber von Nutzen.

Die Schieber werden im Stadtrohrnetz hauptsächlich an den Endpunkten der einzelnen Leitungen bei den Kreuzungen eingebaut, so dass jede Strecke zwischen zwei Kreuzungspunkten mittels der beiden Schieber entweder nach der einen oder andern Seite, oder nach allen beiden abgesperrt werden kann. Bei sehr langen Strecken setzt man auch noch Zwischenschieber ein, um, wenn nötig, nur kleinere Strecken ausser Betrieb setzen zu müssen.

Zur Verbindung mit der Rohrleitung erhalten die Schieber entweder beiderseits Normalflantschen, wie in Fig. 156, oder Normalmuffen. Die Flantschenverbindung erfordert zur Vereinigung mit der Rohrleitung, die gewöhnlich aus Muffenröhren besteht, noch zweier Formstücke mit Flantschen, nämlich ein E- und ein F-Stück, während der Muffenschieber unmittelbar, also billiger, mit den Muffenröhren verbunden werden kann. Die Verbindung der Schieber mittels Flantschen hat dagegen den erheblichen Vorteil, dass der Schieber, wenn erforderlich, leicht ausgewechselt werden kann; es sind deshalb auch meist Flantschschieber in Gebrauch. Für die Baulänge der Flantschschieber ist ein bestimmtes Normalmass eingeführt, das von den Fabrikanten auch eingehalten wird; die Baulänge, der Abstand der beiden An-

schlussflantschen von Dichtungsfläche zu Dichtungsfläche ist nämlich D + 200 mm, worin D die Rohrlichtweite in Millimetern bezeichnet. Der Durchmesser der Handräder ist D + 100 mm. Folgende Tabelle enthält die Preise der Schieber, sowie ihre Baulänge und ihr Gewicht.

Tabelle XXIII.

Preise der Absperrschieber mit Flantschen und für 1,50 m Rohrüberdeckung.

Lichtweite	Baulänge	Gewicht	Preise der			Lichtweite	Baulänge	Gewicht	Preise der		
			Schieber	Handräder	Einbaurüstung				Schieber	Handräder	Einbaurüstung
mm	m	k	Mk.	Mk.	Mk.	mm	m	k	Mk.	Mk.	Mk.
40	240	17	24	0.80	18	275	475	275	260	5.50	20
50	250	21	30	1.—	18	300	500	320	300	6.—	20
60	260	25	35	1.20	18	350	550	430	380	7.—	20
70	270	30	40	1.40	18	400	600	535	460	9.—	20
80	280	37	45	1.60	18	450	650	735	580	10.50	20
100	300	50	60	2.—	18	500	700	935	680	12.50	20
125	325	70	80	2.50	20	600	800	1415	880	16.—	20
150	350	90	100	3.—	20	700	900	2150	1125	18.—	24
175	375	130	130	3.50	20	800	1000	2560	1450	24.—	24
200	400	160	160	4.—	20	900	1100	3350	1700	30.—	24
225	425	190	190	4.50	20	1000	1200	4700	2000	36.—	24
250	450	230	210	5.—	20						

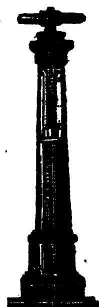
Bemerkungen zu obiger Tabelle:

Die Preise der Schieber gelten für Flantschen und Muffenschieber.

1 schmiedeiserner Schieberschlüssel kostet . 8 Mk.

1 gusseiserner Säulenständer mit Skala (Fig. 157) für das Zeigerwerk eines Schiebers kostet . . . . 60 Mk.

Einfaches Zeigerwerk ohne Säule kostet 8 bis 25 Mk.


Fig. 157.

Hydranten. (Feuer- oder Spritzhähne.)

Das Wesentliche an diesen Feuerhähnen besteht, wie bei allen Zapfvorrichtungen der Wasserleitung, aus einem

Scheibenventile mit Leder- oder Gummidichtung, das sich in einem gusseisernen Gehäuse befindet und mittels Spindel wie die Schieber geöffnet und geschlossen wird. Auch die Feuerhähne können entweder in einem Schachte sitzen, oder mittels Einbauausrüstung, wie die Schieber, mit der Strassenoberfläche in Verbindung stehen. Ist der Schacht besteigbar, so kann der Hydrant mittels Handrad in Betrieb genommen werden; ist derselbe aber nicht besteigbar, so muss im Schachte eine auf die Spindel gesetzte Schlüsselstange bis unter die Schachtabdeckung aufsteigen.

Die Einbauausrüstung der Feuerhähne unterscheidet sich von derjenigen der Schieber wesentlich dadurch, dass das Hülserohr fest mit dem Ventilgehäuse verbunden ist, und die Stopfbüchse mit der Gewindespindel auf dem Abschlussdeckel des Hülserohres innerhalb des gusseisernen Strassenkastens sich befindet; die Schlüsselstange ist unmittelbar mit dem Ventile verbunden und oben von der Spindel gefasst. Diese Anordnung hat den Vorteil, dass die Stopfbüchse von oben zugänglich ist, und dass man nach Lösen des Stopfbüchsendeckels, Schlüsselstange samt Ventil herausnehmen und dieses reinigen oder erneuern kann.

Das Hülserohr ist oben seitlich ausgeweitet für die Mündung unter der Schlauchverbindung; diese besteht in einem sogenannten Bajonettverschluss, oder einer Klaue, mit welcher ein Standrohr verbunden wird, welches die eigentlichen Schlauchverschraubungen trägt. Eine Klauenverbindung ist innerhalb des Strassenkastens zweckmässiger als eine Gewindeverbindung, weil diese verstossen werden kann in einzelnen Gängen, oder versandet und dann bei dem Aufschrauben der Schläuche oder Standröhren versagt. Die Anwendung eines Standrohres ist schon deshalb geboten, weil bei unmittelbarem Anschrauben des Schlauches im Kasten der Schlauch am obern Kastenrande geknickt wird, wodurch der Wasserlauf gehemmt und der Schlauch beschädigt wird. Die Öffnung der Klaue sowohl wie die Stopfbüchse erhalten einen gusseisernen Schmutzdeckel, der an kleinen Ketten befestigt ist. Der Deckel des Strassenkastens ist um einen senkrecht beweglichen Stift drehbar, welcher im Kasteninnern Führung hat, und welche Vorrichtung gewöhnlich bei den kleinen Strassenkasten

angewendet wird, um eine unbefugte Entfernung des Deckels zu verhüten.

Alle Feuerhähne mit Einbaurüstung müssen mit einer Entleerung versehen sein, wodurch das nach dem Gebrauche und Schluss des Ventiles im Mantelrohre stehenbleibende Wasser ablaufen und im Boden versickern kann.

Diese Entleerung ist entweder selbstthätig durch den Schluss des Ventiles, oder sie wird von Hand bewirkt; im ersten Falle ist das Ventilgehäuse oberhalb des Ventilsitzes durchbohrt und auf der Innenseite mit einer geschliffenen Dichtungsfläche aus Rotmetall versehen, auf welcher eine zweite Dichtungsfläche aus geschliffenem Metall gleitet, welche an dem Ventilkörper befestigt ist und mit diesem sich auf und ab bewegt, so dass bei Schluss des Ventiles der Schieber die Gehäusedurchbohrung offen lässt, während er bei Öffnung des Ventiles diese Bohrung bedeckt und schliesst (siehe Fig. 158, S. 466).

Zur Entleerung von Hand ist die erwähnte Durchbohrung des Ventilgehäuses nach aussen mit einem kleinen Hahne oder Auslaufventile versehen, das für Öffnung und Schliessung mit Einbaurüstung versehen ist, bestehend aus Schlüsselstange und Hülserohr, die im Strassenkasten des Feuer- oder Sprenghahnes münden. Wenn die Bedienung von Hand eine zuverlässige ist, so hat sie gegenüber der selbstthätigen den Vorzug, dass man stets Gewissheit hat von der wirklichen Öffnung und dem Schlusse der Entleerung, was bei der selbstthätigen Entleerung nicht immer möglich ist.

Der oben beschriebene, durch Fig. 158 abgebildete Feuerhahn mit selbstthätiger Entleerung oder solcher von Hand und mit gusseisernem Strassenkasten, der elliptische Öffnung hat, ist der am meisten gebräuchliche; die mit der Strassenkappe in der Oberfläche der Strassen abschliessenden bezeichnet man als Unterflur-Hydranten im Gegensatze zu jenen, deren Ummantelung in Form einer gusseisernen Säule noch um 1,0 m über die Strassenfläche erhöht ist, und die man deshalb als Überflurhydranten benennt. Das Öffnen und Schliessen der Überflursprenghähne erfolgt mittels Umdrehung des Säulenkopfes durch

einen halbmondförmigen Schlüssel, der auch zum Anziehen der Verschlusskapseln über den seitlichen Schlauchgewinden dient. Die Abschlussplatte des Mantelrohres mit der Stopfbüchse für den Durchgang der Schlüsselstange liegt im Säulenkopfe, und unter diesem befinden sich, einander gegenüberstehend, zwei Öffnungen in der Ummantelung mit messingnen Gewindeansätzen für Schlauchverbindung; messingne Kapseln mit eingelegten Gummi- oder Lederscheiben schliessen diese Öffnung zur Zeit des Nichtgebrauches und sind zu weiterer Sicherung mit kleinen Ketten an die Säule befestigt. Im übrigen ist die Einrichtung dieser Überflurhähne (Fig. 159) dieselbe wie die der Unterflurhähne.

Fig. 158.

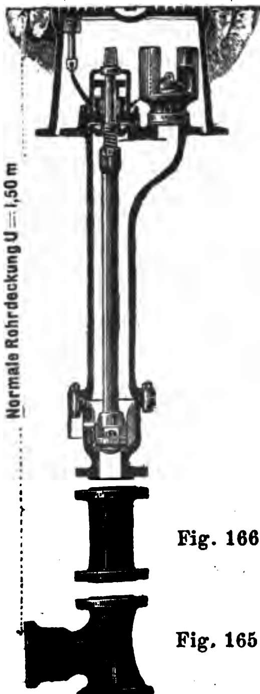




Fig. 166.

Fig. 165.



Fig. 159.



Fig. 160.

Die Überflurfeuerhähne haben den Vorteil, dass keine Standröhren für die Schlauchverbindung erforderlich sind und dass die-

selben, wenn die Strassen mit Schnee und Eis bedeckt sind, der Benützung immer leicht zugänglich bleiben, was bei den Unterflurfeuerhähnen in diesem Falle häufig schwierig ist, weil die Abdeckungen derselben wegen der Schneedecke teils schwer auffindbar, teils festgefroren sind.

Dagegen ist die Aufstellung von Überflurhähnen in Strassen mit sehr schmalen Fusssteigen mit Schwierigkeiten verbunden, weil sie einerseits nicht in der Fahrbahn aufgestellt werden können und im Fussweg auch nicht zu nahe am Randsteine wegen der Gefahr der Anrempelung durch Fuhrwerke, andrerseits aber dem Verkehre auf schmalen Fusssteigen hinderlich sein können. Wo genügend Raum vorhanden ist, verdient jedenfalls der Überflurfeuerhahn den Vorzug.

Eine weitere Vereinfachung der Konstruktion bietet Reuthers Patenthydrant (Fig. 160), bei dem die Schlüssel- oder Druckstange, sowie die damit verbundene Ventilspindel hohl sind und als Steigeröhre dienen, auf welcher oben der Bajonettverschluss sitzt. Aus diesem Grunde ist hier keine Stopfbüchsen- und Manschettenliderung erforderlich, wodurch das Öffnen und Schliessen leichtgehend ist und die Instandhaltung vereinfacht wird. Der Schlüssel zum Schliessen und Öffnen geht mittels Stopfbüchse durch das Standrohr; durch dessen Aufdichten auf die Klaue des Hydranten greift gleichzeitig der im Standrohre befindliche Schlüssel in die hohle Ventilspindel ein. Durch Linksdrehen des Schlüssels wird alsdann der Feuerhahn geöffnet. Die Entleerung kann hier auch eine selbstthätige oder eine von Hand sein.

Die Standröhren bestehen aus einem Schafte von Kupferrohr, der am untern Ende mit der messingnen Klauenverschraubung, oben mit den messingnen, in einer Stopfbüchse drehbaren Schlauchverbindungen versehen ist. Häufig erhalten diese Schlauchverschraubungen noch Absperr- und Regulierventile.

In den Fig. 161, 162 und 163 (S. 468) sind einige Standröhren abgebildet. Bezüglich der Gewinde für die Schlauchverschraubungen, die im allgemeinen eine Lichtweite von 50 mm haben, gibt es viele örtliche Verschiedenheiten und es ist nötig, diese Gewinde bei den Fabrikanten nach einem Muster der bei der Ortsfeuer-

wehr üblichen Verschraubungen zu bestellen. Eine gute Schlauchverschraubung soll rasch fassen und leicht gehen und durch Aufschlagen auf den Boden nicht so leicht beschädigt werden, weshalb vor allem ein runde s Gewinde, sogenanntes Kordelgewinde, zu empfehlen ist.



Fig. 161.

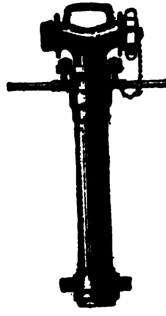


Fig. 162.



Fig. 163.

Die Zeichnungen des Absperrschiebers und der Hydranten, sowie auch des Ventil-Strassenbrunnens, sind dem Kataloge der weitbekannten Spezialfirma Bopp & Reuther in Mannheim entnommen.

Nachstehende Zusammenstellung enthält die Preise für verschiedene Hydranten mit Zubehör und für Lichtweite des Einganges von 80 mm D.:

Normalhydrant (Fig. 158) Durchgang 80 mm .	Mk.	60.—
Reuthers Patenthydrant (Fig. 160)	„	55.—
Überflurhydrant (Fig. 159)	„	140.—
Schachthydrant (Fig. 164)	„	30.—
1 Strassenkappe (elliptisch)	„	12.—
1 Fusskrümmer (Fig. 165)	„	8.—
1 Schlüssel zum Öffnen und Schliessen . . .	„	8.—
1 Standrohr aus Kupfer (Fig. 161) mit 2 Ventilen	„	120.—
1 „ „ „ (Fig. 162) mit 2 Auslässen und 1 Verschlusskapsel	„	80.—
1 „ „ „ mit 1 Auslass und drehbarem Oberteil . . .	„	65.—

1 Standrohr aus Eisen und feststehendem Oberteil	Mk.	40.—
Standröhren aus Kupfer mit Schlüssel für Reuthers Patenthydrant		
1 Standrohr mit 1 Auslass	„	80.—
1 „ „ 2 Auslässen und 1 Schlusskapsel (Fig. 163). . . .	„	100.—
1 „ „ 2 Ventilauslässen	„	150.—

Wenn die Sprenghähne nicht unmittelbar mit dem Hauptrohre verbunden sind, also nicht in der Fahrbahn stehen, sondern seitlich des Hauptrohres im Gehwege, so wird deren Verbindung mit der Zuleitung vom Hauptrohre durch einen Fusskrümmer (Fig. 165, S. 466) vermittelt, der eine Grundplatte für gesicherten Stand des schweren gusseisernen Gehäuses besitzt.

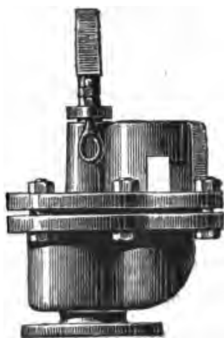


Fig. 164.

Die Feuerhähne werden mit der Einbaurüstung für 1,00 bis 1,25 und 1,50 m Rohrüberdeckung geliefert, und für abweichende Überdeckungen werden Zwischenstücke (Fig. 166, S. 466) angewendet von

80 mm Lichtw. u. Längen von 0,10—0,20—0,30—0,40 u. 0,50 m, welche den Preis haben von 4.—, 4.50, 5.—, 5.50 u. 6 Mk.

Die Strassenbrunnen.

Für die unentgeltliche, öffentliche Wasserentnahme werden häufig, besonders in kleinen Orten, Strassenbrunnen aufgestellt, die je nach ihrer Benützung in zwei Gruppen zerfallen.

1. *Brunnen, deren Abschlussvorrichtung der Öffentlichkeit nicht zugänglich ist.*

Diese Brunnen bestehen aus einem gusseisernen Auslaufständer, in welchem das Steigerohr in die Höhe geführt ist, dann aus einem Absperr- und Entleerungsventil zwischen der Zuleitung und dem Steigerohre, also in frostfreier Tiefe unter dem Boden. Für die Handhabung dieser Absperr- und Entleerungsvorrichtung ist diese

entweder mit Einbauausrüstung (Hülserohr, Schlüsselstange und Strassenkappe) versehen, oder es ist ein ausgemauerter Schacht mit gusseiserner Abdeckung darüber errichtet. Die Öffnung und Schliessung dieser Brunnen wird durch Bedienstete der Wasserleitung zu bestimmten Zeiten vorgenommen, je nachdem man den Brunnen längere oder kürzere Zeit ständig laufen lassen will, wobei man die Auslaufsmenge nach Bedürfnis regeln kann.

2. *Brunnen, welche von dem Wasserentnehmer geöffnet und geschlossen werden.*

Dabei sind weiter zu unterscheiden:

a) Brunnen, bei denen nicht nur das Öffnen, sondern auch das Schliessen des Ventiles durch den Entnehmer geschieht.

Diese Brunnen sind wie die unter 1) angeführten eingerichtet, nur dass hier ausser der im Boden befindlichen Absperr- und Entleerungsvorrichtung, noch ein Zapfventil an dem Auslaufe des Ständers vorhanden ist. Die Absperr- und Entleerungsvorrichtung im Boden hat hier hauptsächlich den Zweck, das Steigerohr bei Frostwetter entleeren zu können.

Derartige Brunnen sind nur da zu empfehlen, wo man versichert sein kann, dass die Zapfventile nach der nötigen Wasserentnahme auch wieder gut geschlossen werden.

b) Brunnen, bei welchen die Öffnung durch den Wasserentnehmer bewirkt wird, der Schluss des Ventiles aber selbstthätig erfolgt, so dass ein unnötiger Wasserabfluss durch Offenbleiben des Ventiles nach der Entnahme verhütet wird.

Am einfachsten fällt diese Einrichtung aus, wenn man das Selbstschlussventil am Auslaufe des Ständers anbringt, statt eines gewöhnlichen Zapfventiles wie bei a); in diesem Falle bleibt jedoch nach dem Gebrauche das Steigrohr mit Wasser gefüllt, und der Brunnen muss bei Frostwetter abgesperrt werden durch die im Boden frostfrei liegende Absperr- und Entleerungsvorrichtung, d. h. der Brunnen darf nur so lange geöffnet bleiben, als das Wasser ständig im Ablaufe begriffen ist.

Diesem Übelstande der zeitweise unterbrochenen Benutzung und Gefahr des Einfrierens wird durch die Verlegung des Selbstschlussventiles unter den Boden in frostfreie Tiefe abgeholfen.

Das Öffnen und Schliessen des Ventiles wird durch eine im Ständer neben dem Steigrohre aufgehende Schlüsselstange vermittelt, welche durch einen damit verbundenen und aus dem Ständer hervorragenden Druckhebel gehoben wird, das Ventil öffnet, und durch ihr Eigengewicht wieder niedersinkt, sobald man den Druckhebel loslässt, um das Ventil zu schliessen.

Die selbstthätige Entwässerung des Steigerohrs wird hier teils ähnlich wie bei den Hydranten, teils mittels Kolben an der Druckstange bewirkt, die beim Schlusse des Ventils im Kolbencylinder Raum für das aus dem Steigrohre absinkende Wasser schaffen und beim Öffnen dieses Wasser wieder daraus in das Steigrohr verdrängen, so dass ein Wasserverlust hier nicht stattfindet. Diese Art Selbstschlussventile müssen in einem Schachte untergebracht werden, da sie gute Instandhaltung verlangen; ausser dem Selbstschlussventil müssen diese Brunnen noch mit einem Absperrventile im Schachte versehen sein, um den ganzen Ventilapparat, wenn nötig, von der Wasserzuführung abzuschliessen.

Sehr zweckmässig ist der Ventilbrunnen von Reuther mit Ejektor-Entleerung, d. h. nach Schluss des Ventils fällt das Wasser aus dem Steigrohre in den Raum über dem Ventile bis in frostsichere Tiefe zurück, woraus es beim Öffnen des Ventils durch den aus dem Ejektor austretenden Druckwasserstrahl wieder ins Steigrohr emporgerissen wird und hier mit dem andern Wasser zum Auslaufe gelangt. Die Zugstange, deren unteres Ende das Ventil mit dem Ejektor trägt, ist hier ein hohler eiserner Cylinder, in welchem das Steigrohr, dessen unteres Ende als Ejektor ausgebildet ist, in die Höhe geht (siehe Fig. 167, S. 472).

Ein gemauerter Schacht ist für die Ejektorbrunnen nicht erforderlich, weil der unterirdische Teil des Brunnens in einer gusseisernen Ummantelung sich befindet, die mit dem oberirdischen Ständer zusammenhängt, und weil, wie bei den Hydranten, die

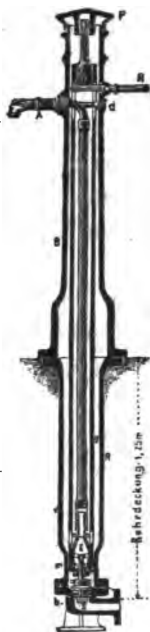


Fig. 167.

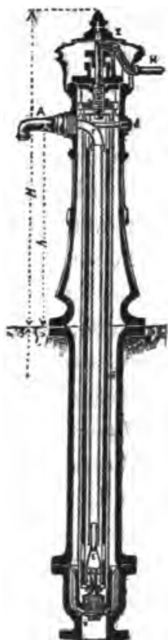


Fig. 168.

Druckstange mit dem Ventil- und Ejektorapparat nach Abnahme des Ständerkopfes herausgezogen und etwaigen Ausbesserungen unterzogen werden kann. Der Abschluss ist ein möglichst stossfreier, und die im Steigrohre zurückbleibende Wassermenge geht nicht verloren.

Die Mantel- oder Schachtrohre dieser Brunnen sind für 1,25 m Rohrdeckung der Zuleitung bemessen; die Zuleitung von dem Hauptrohre zu dem Brunnen besteht aus 20 mm weiten Eisen oder Bleiröhren mit einem Absperrventil, dessen Einbauausrüstung in der Fussplatte des Ständers endigt und mit beweglichem Deckel versehen ist.

Nachstehend sind die Preise für diese Brunnen verzeichnet:

1 Ventilbrunnen, wie Fig. 167, ohne das Absperrventil und ohne Brunnenschale .	Mk. 150.—
1 Absperr- und Regulierungsventil mit Einbaurüstung	Mk. 20.—
1 Brunnenschale auf Säulenfuss	Mk. 20.—

Bezüglich der Säulen ist nach Form, Grösse und Ausschmückung eine grosse Auswahl vorhanden, wonach auch entsprechende Preisunterschiede.

Eine Vereinigung dieser Ejektorbrunnen mit einem Feuerhahn ist Reuthers sogen. Hydrantbrunnen (Fig. 168). Das grössere Ventil für den Feuerhahn umfasst zugleich das kleine Brunnenventil mit dem Ejektor, und die hohle

Zugstange des letzteren mit dem Steigrohre. befindet sich innerhalb der hohlen Druckstange des Hydrantenventils. Die Öffnung und Schliessung der Ventile geschieht auch hier durch Druck auf einen Hebel für Hebung der Zugstange, die durch Eigengewicht nach Loslassen des Hebels wieder zurückfällt, und durch Drehen der Spindel am Säulenkopfe für die Druckstange. Bei Bewegung der Druckstange für Öffnung und Schluss des Feuerventiles geht der Ventilapparat mit, ohne sich dabei zu öffnen. Die Säule trägt einen mit dem Steigrohr in Verbindung stehenden Auslauf für den Brunnen und zwei Ausläufe mit Schlauchgewinde und Schlusskapsel für Schlauchkuppelung. Die Vorteile des Hydrantenbrunnens sind dieselben wie die der Ventilbrunnen und Überflurhydranten, wozu der weitere Vorteil kommt, dass statt zwei Säulen mit Schachtrohr und Zuleitung hier für denselben Zweck nur eine herzustellen ist. Als Zuleitung genügt eine 80 mm weite Leitung, wenn die Durchgangsweite des Feuerhahnes 80 mm beträgt; ebenso ist für diese Lichtweite

die Höhe der Säule vom Boden bis Kopfspitze . 950 mm
„ „ „ „ „ „ zu den Ausläufen 650 mm

Der Preis ist für

1 Hydrantbrunnen, für 1,40 m Rohrdeckung Mk. 220.—
1 Halbmondschlüssel dazu . . . . . . Mk. 3.—

Eine besondere Vereinigung ergibt sich aus der Verbindung der Unterflurhydranten und der Ejektor-Ventilbrunnen mit einem Gaskandelaber, wobei der genügend weite Unterteil des Kandelabers als die das Schachtrohr überragende Säule benutzt wird, die auf diese Weise erübrigt werden kann.

Die Zuleitungen zu den einzelnen Bedarfssorten, wie Hydranten, Brunnen und Privatgrundstücke.

Die Zuleitungen bestehen für Lichtweiten von mehr als 30 mm am besten immer aus gusseisernen Röhren, da sie bei diesen grösseren Lichtweiten billigere Rohrleitungen ergeben, die zugleich eine grosse Dauerhaftigkeit versprechen. Für die kleineren Lichtweiten von 13 mm bis 30 mm D. werden, soweit die Leitungen

unterirdisch zu verlegen sind, am besten Bleiröhren verwendet; schmiedeeiserne, innen und aussen verzinkte Röhren sind trotz dieses Schutzes doch im Boden der Zerstörung ausgesetzt, besonders wenn der Boden feucht und sumpfig ist. Gusseiserne Röhren von 25 oder 30 mm D. zu verwenden, ist nicht empfehlenswert, weil diese engen Röhren gegen äusseren Druck, besonders wenn sie nicht genügend auf gewachsenem Boden liegen, wenig widerstandsfähig sind und ausserdem der Preisunterschied gegenüber den 40 mm weiten Röhren nicht erheblich ist.

Der Anschluss der gusseisernen Zuleitungen an die Hauptleitungen wird durch in diese verlegte Abzweigröhren vermittelt; für die schmiedeeisernen und Bleileitungen wird zum Anschlusse in das Hauptrohr ein Loch von der entsprechenden Lichtweite gebohrt und das Blei- oder Eisenrohr mittels Rohrschelle damit in Verbindung gebracht.

Das Anbohren der Hauptröhren zum Anschluss von Zuleitungen hat den Vorzug vor dem Verlegen von Abzweigstücken in die Hauptleitung, dass man die Anschlussstelle genau dem Bedürfnisse entsprechend auswählen kann, während das Verlegen der Abzweigstücke für Privatgrundstücke meistenteils zu einer Zeit bewirkt werden muss, wo die zweckmässige Anschlussstelle noch nicht bestimmbar ist, nämlich bei Neuanlagen von Wasserleitungen zur Zeit der Hauptrohrverlegung. Ein nachträgliches Einsetzen von Abzweigstücken während des Betriebs ist sehr störend und auch kostspielig, weshalb es nur ausnahmsweise vorgenommen wird, wenn eine Anbohrung wegen zu grosser Lichtweite der Zuleitung nicht mehr angängig ist.

Die Zuleitungen zu den Hydranten sind immer gusseiserne und werden mittels Abzweigen angeschlossen; bei Neuanlagen ist der Aufstellungsort der Feuerhähne schon im Projekt bestimmt, so dass die Abzweigröhren dafür beim Verlegen der Hauptröhren gleich mit eingesetzt werden können; zweckmässig ist es, auch für andere Zwecke voraussichtlich erforderliche Zuleitungen grösserer Lichtweiten schon rechtzeitig festzustellen, damit auch hierfür schon Abzweigröhren (A-stücke), deren Abgangsstutzen vorläufig mit Blendflantschen geschlossen bleibt, eingesestzt werden können.

Die Anbohrungen werden gewöhnlich für Lichtweiten der Zuleitung von 20 bis 30 mm vorgenommen, könnnen aber auch bis 50 mm D. ausgeführt werden. Bei den Anbohrungen ist zunächst zu unterscheiden, ob die Anbohrung an einem unter Betriebsdruck stehenden Wasserrohre oder einem entleerten Rohre vorzunehmen ist; ferner ist dabei zu berücksichtigen, ob die Zuleitung unmittelbar hinter dem Hauptrohre schon eine Absperrvorrichtung erhalten soll, was sich in der Regel empfiehlt, oder nicht.

Handelt es sich um die Anbohrung eines entleerten Rohres, so wird zunächst die aus schmiedeeisernem Bügel und gusseisernem Verbindungsstück bestehende Rohrschelle mit dem zur Abdichtung dienenden Gummiringe auf das Rohr geschraubt, so dass die Mündung der Rohrschelle über der voraus bestimmten Anbohrstelle liegt; sodann wird der Bohrer durch die Mündung der Rohrschelle gesteckt und mittels Bohrklaue und Bohrrätsche das Loch in das Rohr gebohrt und dann der Bohrer herausgezogen. Zur Verbindung mit den Zuleitungen kleiner Lichtweiten erhält das Innere der Rohrschellenmündung gewöhnlich ein Eisenrohrgewinde, in welches, wenn erforderlich, ein Absperrhahn eingeschraubt wird; wenn ein solcher nicht nötig ist, so tritt an dessen Stelle ein messingnes Verbindungsstück, das einerseits mit Gewinde für die Rohrschelle, andrerseits entweder ebenfalls mit Gewinde zur Verbindung mit Eisenrohr oder mit Lötzapfen zur Verbindung mit Bleirohr versehen ist (siehe Fig. 169). Statt mit Gewinde, wird die Rohrschellenmündung für Zuleitungen grösserer Lichtweiten auch mit angegossener Normalflantsche ausgestattet.

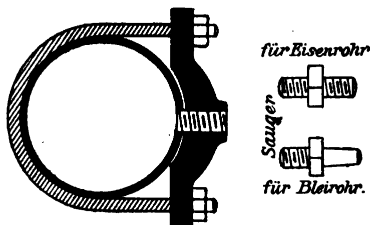


Fig. 169.

Die Absperrhähne, welche der Rohrschelle unmittelbar angefügt werden, haben den Zweck, die Zuleitung bei vorkommenden Undichtigkeiten derselben auf ihre ganze Länge abzusperren und dadurch Störungen im Betriebe der Hauptleitung zu vermeiden.

Diese Hähne liegen gewöhnlich unter der Fahrbahn und werden häufig mit der Zuleitung eingefüllt, so dass sie für die Benutzung neu aufgegraben werden müssen; besser ist es, dieselben mit einer Einbaurüstung zu versehen, mit Schlüsselstange, Hülserohr und Strassenkappe.

Steht das anzubohrende Rohr unter dem Betriebsdrucke der Wasserleitung, so muss der Bohrapparat mit einer Stopfbüchse versehen sein, durch welche der Bohrer geführt ist, und die mit der Rohrschelle oder dem Anbohrhahne wasserdicht verbunden wird. Ist das Rohr durchbohrt, so zieht man den Bohrer bis vor den Hahn zurück, schliesst diesen, worauf der Bohrapparat entfernt und die Zuleitung mit dem Hahn verbunden werden kann.

Statt die Anbohrung seitlich am Rohre vorzunehmen, kann dies auch am Rohrscheitel geschehen; in diesem Falle erhält die Rohrschelle eine obere Mündung für den Durchgang des Bohrers und eine seitliche Mündung zur Verbindung mit der Zuleitung (Fig. 170). Die obere Mündung wird, wenn das Rohr bei der Anbohrung entleert war, mit einem eisernen Gewindestöpsel verschlossen; geschieht die Anbohrung unter Druck, so muss der Bohrapparat selbst unter der Stopfbüchse noch mit einem Absperrhahne versehen sein, hinter welchem der Bohrer nach der Durchbohrung zurückgezogen und der Hahn geschlossen wird. Nach Schluss des Hahnes wird der Bohrer ganz herausgezogen und dafür mittels Stopfbüchse eine Stange von der Stärke des Bohrers in den Bohrapparat eingeführt, der Hahn nach Befestigung der oberen Stopfbüchse wieder geöffnet, und die Stange, an welche am unteren Ende der Gewindestöpsel angeschraubt ist, durch den Hahn so weit vorgeschoben, dass durch Rechtsdrehen der Stange der Gewindestöpsel zum Verschluss der oberen Rohrschellenmündung eingeschraubt werden kann, wonach der Bohrapparat mit Hahn und Stange entfernt werden kann. Diese Art Rohr-

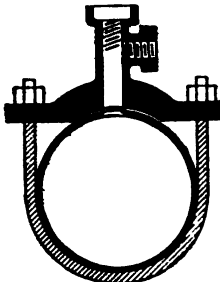


Fig. 170.

schellen mit zwei Mündungen haben den Zweck, dass die Zuleitung schon vor der Anbohrung mit der Rohrschelle verbunden und mittels Druckprobe auf ihre Dichtigkeit geprüft werden kann; ausserdem tragen die Scheitel-Anbohrungen zur Entlüftung der Hauptröhren bei, indem die Zuleitungen in der Richtung nach den Bedarfsstellen ansteigend verlegt werden.

Erhalten die Zuleitungen zu den Privatgrundstücken nicht schon einen durch Einbaurüstung stets zugänglichen Anbohrhahn, so gibt man ihnen gewöhnlich vor Eintritt der Zuleitung in das Privateigentum im Fusssteige noch einen Absperrhahn mit Einbauausrüstung, so dass man immer in der Lage ist, den Wasserzufluss nach dem Privatgrundstück absperren zu können, ohne dieses betreten zu müssen.



Fig. 171.

Bezüglich der Stärke, Gewichte, Preise u. s. w. der schmiedeeisernen und Blei-Röhren sind in dem Abschnitte über Hausleitungen die nötigen Angaben zu finden. Über Rohrschellen mit Zubehör ist nachstehend das Nötige mitgeteilt; auch habe ich noch einige andere Preisangaben hinzugefügt.

Beistehende Fig. 171 zeigt einen Bohrapparat samt Anbohrhahn und mit Rohrschelle zum Anbohren verbunden.

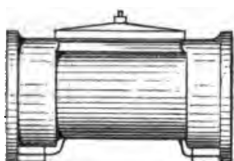
XXIV.

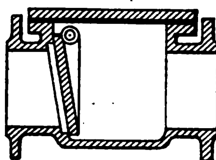
Preistabelle über Rohrschellen, Teil- und Streifkasten, Luftventile, Klappenventile und Einlaufseiher.

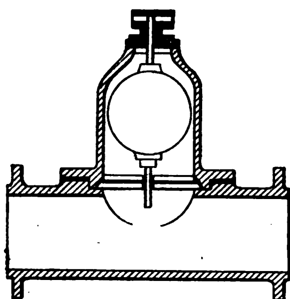
Gegenstand	Lichtweite der Hauptleitung, welche anzubohren ist, in Millimeter. Der Preis ist in Mark angegeben.																		
	40	50	60	70	80	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	600
Rohrschelle (Fig. 170). 20, 25, 30	2.40	2.50	2.60	2.70	2.80	3	3.25	3.50	3.75	4	4.50	5	5.50	6	7	8	9	10	12
Rohrschelle (Fig. 170). 40, 50	—	—	—	—	3.10	3 35	3.60	3.85	4.10	4.40	4.90	5.40	6	6.50	7.60	8.70	9.80	11	13
Teilkasten mit Luftschraube (Fig. 151) .	—	—	—	—	—	—	—	40	—	75	—	—	—	125	—	—	—	—	—
Streifkasten mit Luftschraube (Fig. 171 a)	10	10	12	14	16	20	25	30	35	40	45	55	65	75	—	—	—	—	—
Klappenventil (Fig. 171 b)	15	20	24	27	30	40	60	80	100	120	140	160	180	200	einschliesslich Einbau-Flantschrohr				
Luftventil selbstthätig (Fig. 171 c) . . .	15	18	21	24	27	35	50	70	90	110	130	150	180	210					
Einlaufseiher a. verzinntem Kupfer (Fig. 171 d)	7.50	8	9	10	12	16	26	40	48	55	62	70	80	90	100	116	130	150	180

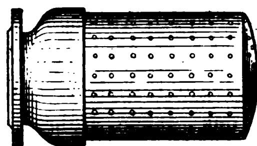
Sauger für Bleirohr	10 mm	15 mm	20 mm	25 mm	30 mm	40 mm	50 mm
Sauger für Bleirohr ohne Verschraubung .	0.40	0.50	0.70	0.90	1.55	2.—	2.70
„ „ „ mit „ .	1.10	1.25	1.70	2.50	4.—	5.70	7.60
„ „ Eisenrohr ohne „ .	wie oben für Bleirohr derselbe Preis						
„ „ „ mit „ .							

Anbohrhähne in Rotguss	20 mm	25 mm	30 mm	40 mm	50 mm
Mit Verschraubung für Eisenrohranschluss .	6.50	9.50	14.—	—	—
„ „ „ Bleirohranschluss .	7.—	11.50	17.—	—	—
Anbohrschieberventil	12.80	14.—	16.—	19.—	—
Einbaurüstung dazu	15.—	15.—	15.—	15.—	—


Fig. 171a.


Fig. 171b.


Fig. 171c.


Fig. 171d.

Die Prüfung der Röhren und Rohrleitungen auf Dichtigkeit und Festigkeit.

Obwohl die Röhren schon in den Giessereien vor ihrem Versandt einer Prüfung unterworfen werden, so nimmt man sie am Verwendungsorte doch noch einmal vor wegen der mancherlei Beschädigungen, die durch den Transport veranlasst werden. Die Prüfung besteht darin, dass man das Rohrstück mit Wasser füllt, seine Mündungen dann, wenn durch das Wasser alle Luft daraus verdrängt ist, wasserdicht abschliesst, worauf durch eine Druckpumpe das Wasser in dem Rohrstücke auf den beabsichtigten Probedruck gebracht wird. Während des Druckes wird das Rohr

von allen Seiten besichtigt, ob sich keine Schweissstellen an demselben zeigen; gröbere Undichtigkeiten, wie Risse u. dgl. machen sich ohnehin bemerklich durch Ausspritzen. Vorhandene undichte Stellen werden auf der Rohrfläche sogleich mit Farbe bezeichnet und ihrem Umfange nach umkreist. Nach der Besichtigung wird durch Ablassen von wenig Wasser der Druck im Rohre aufgehoben und das Rohr mittels eiserner Handhämmer von allen Seiten angeschlagen; wobei die Schläge hell erklingen müssen; das Anschlagen hat den Zweck, etwa vorhandene schwache Stellen, die dem Wasserdruck noch widerstanden haben, zu entdecken und besonders auch die Widerstandsfähigkeit des Rohres gegen äussere Angriffe zu prüfen. Das Anschlagen während des vorhandenen hohen Probedruckes vorzunehmen, ist nicht rätlich, weil unter diesem das Eisen ohnehin schon in grosse Spannung versetzt ist; angängig ist aber, für das Anschlagen den Druck nicht ganz aufzuheben, sondern nur auf den Betriebsdruck von 4 bis 5 Atmosphären zurückzuführen; der Probedruck beträgt gewöhnlich 15 bis 20 Atmosphären.

Undicht befundene Röhren stellt man am besten der Giesserei zur Verfügung und lässt diese dafür sorgen, ob und in welcher Weise das ganze Rohrstück oder Teile desselben durch Ausbesserungen, wie Verhämmern, Verrosten, Verschrauben oder Abtrennen der schadhaften Teile, etwa brauchbar gemacht und erneuter Prüfung unterworfen werden können. Die gut befundenen Röhren werden mit einer laufenden Nummer versehen (mittels Kalkmilch), gewogen und in ein Verzeichnis eingetragen, weil die gusseisernen Röhren nach Gewicht bezahlt werden und eine bestimmte Abweichung vom Normalgewichte nach oben oder unten im Lieferungsvertrage festgesetzt wird, gewöhnlich $\pm$ 3 %. Die Röhren mit einem Mindergewichte von mehr als 3 % können als untauglich ausgeschlossen oder als überhaupt minderwertige, nur für Strecken mit geringem Betriebsdrucke taugliche Röhren angesehen werden. Ein Mehrgewicht von über 3 % vermindert die Güte der Röhren nicht, doch hat der Empfänger das Recht, dies Mehrgewicht für die Zahlung ausser Rechnung zu lassen.

Vorsicht ist bei Abschluss von Lieferungsverträgen bezüglich dieses Punktes insofern nötig, als von dem Lieferanten die Gewichtsberechnung so ausgelegt wird, dass das nicht zu zahlende Mehrgewicht sich aus der Durchschnittsrechnung der Mehr- und Mindergewichte aller Röhren ergebe, d. h. also z. B., wenn ein Rohr $-3\,\%$ und ein zweites Rohr $+3\,\%$ wiegt, so ist das Durchschnittsgewicht normal, und ein Abzug findet nicht statt; hat aber das zweite nicht $+3\,\%$, sondern $+9\,\%$ Mehrgewicht, so ist der Durchschnitt $\frac{-3+9}{2} = +3\,\%$, und es müsste demnach bezahlt werden nach der Auffassung der Giesserei, weil durchschnittlich das zulässige Mehrgewicht nicht überschritten ist, ein Rohr mit $-3\,\%$ und ein Rohr mit $+9\,\%$, also zwei Röhren mit zusammen $+6\,\%$, während nach der strengeren Auffassung zu zahlen wäre 1 Rohr mit $-3\,\%$ und 1 Rohr mit $+3\,\%$, oder zusammen mit Normalgewicht, also für jedes Rohr $3\,\%$ weniger als die Giesserei verlangt. Diese Differenzen zu Gunsten der Giesserei sind demnach um so grösser, je mehr Röhren geliefert werden, die ein zulässiges Mindergewicht bis $3\,\%$ haben. Gestattet man einen Gewichtsspielraum bis $\pm 5\,\%$, so werden die genannten Kostenunterschiede noch beträchtlicher.

Zu möglichst rascher und sicherer Bethätigung der Rohrprüfung hat man besondere Einspannvorrichtungen (Fig. 172)

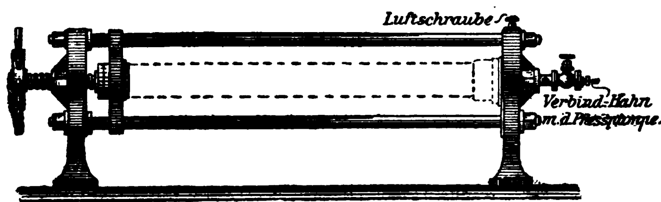


Fig. 172.

Einspannvorrichtung für Röhren bis zu 3 oder 4 m Baulänge mit Spindelpressung von Hand und für Wasserdruck bis zu 25 Atmosphären.

aus gusseisernen Pressplatten, die mit schmiedeeisernen Zugstangen beweglich verbunden sind; die Bewegung der einen Pressplatte, vor- und rückwärts, wird durch eine kräftige Schraubenspindel

durch die Hand bewirkt. Die Röhren werden zwischen beide Platten gespannt und mittels breiter Ringe aus Hanfzöpfen (um einen Ring von Schmiedeeisen gewickelt und mit Talg gefettet) gegen diese abgedichtet.

Fig. 172 zeigt eine derartige Einspannvorrichtung. Unter derselben befindet sich ein hölzerner Trog, in welchen das Wasser bei Entleerung der geprüften Röhren abläuft. Für die Füllung der Röhren mit Wasser stellt man in der Nähe ein kleines Reservoir von 1,0 cbm Inhalt in etwa 2,5 m Höhe über dem Boden auf, das man nur zeitweise mit frischem Wasser zu versehen braucht, weil man das von der Einspannvorrichtung ablaufende Wasser immer wieder durch Aufpumpen in den Behälter von neuem zur Verwendung bringt.

Statt des Einspannens der Röhren durch die Hand mittels Spindel verwendet man für die Röhren grosser Lichtweite über 300 mm D. auch Rohrpressen unter hydraulischem Drucke; der Wasserdruck auf die Pressplatte wird durch eine Presspumpe ausgeübt; nach Aufheben des Pressdruckes durch Wasserablassen wird durch einen Winkelhebel mit Gegengewicht die Pressplatte zurückgezogen und das Rohr ist wieder ausgespannt.

Der Preis einer solchen Einspannvorrichtung wie Fig. 172 ist bei Bopp & Reuther Mk. 300.—. Die hydraulischen Einspannvorrichtungen kosten

für Röhren	bis	zu	300	mm	D.	Mk.	900.—
„	„	„	500	„	„	„	1800.—
„	„	„	800	„	„	„	2700.—
„	„	„	1000	„	„	„	3800.—

1 Presspumpe mit einfachem Taucherkolben samt schmiedeeisernem Wasserbehälter, Manometer bis 25 Atm. und Hahn kostet . . . . . . Mk. 100.—

1 Presspumpe mit zweifachem Kolben, für Nieder- und Hochdruck, sonst wie vorige, kostet . . Mk. 200.—

Die Länge der Einspannvorrichtung ist für die Normallänge der Röhren, also für 3,0 oder 4,0 m bemessen; zum Einspannen kürzerer Rohrstücke verwendet man eine an dem Gestänge beweg-

liche Zwischenplatte und spannt zur entsprechenden Verkürzung zwischen diese und die am Gestänge feststehende Scheibe ein auf die Verkürzungslänge abgehauenes Rohrstück von 100 bis 150 mm D.

Zum Prüfen von A-Stücken wird die Abzweigflantsche mittels Blendflantsche abgeschlossen; bei B-Stücken ist der Muffenabzweig durch Blendflantsche und Schraubenbügel mit eingelegtem Hanfring zu verschliessen.

Für Krümmer muss man besondere Einspannvorrichtungen mit verstellbarem Gestänge verwenden.

Aber nicht nur vor der Verwendung werden die einzelnen Röhren, Schieber, Hydranten durch Wasserdruck geprüft, sondern auch nach der Verwendung, indem man die verlegten Rohrleitungen streckenweise einer solchen Prüfung unterwirft und zwar gewöhnlich bis zu 15 Atm. Wasserdruck. Die vorhandenen Öffnungen der betreffenden Rohrstrecke werden zu diesem Zwecke gut wasserdicht mittels Blendflantschen abgeschlossen, die beiden Enden der Rohrstrecke gegen den gewachsenen Boden auf grosse Flächen vorgelegter eichener Bohlen abgespriesst, vorkommende Krümmerstellen genügend befestigt gegen Verschiebung, wenn nötig gegen den gewachsenen Boden vermauert; ausserdem empfiehlt es sich, die Röhren zwischen den Muffen und sonstigen Verbindungen etwa 0,30 m hoch mit Erde zu bedecken, oder zu belasten, was besonders auch zweckmässig ist, wenn die Rohrstrecke mehrere Tage bei stark wechselnder Temperatur offen liegen bleiben muss, so dass Dehnungen und Verkürzungen des Rohrstranges und dadurch Lockerung der Verbindungen und Dichtungen zu erwarten ist.

Die Füllung der zu prüfenden Rohrstrecke muss stets von deren tiefstem Punkte aus nach aufwärts geschehen, und vor allem ist auf eine möglichst vollständige Verdrängung der Luft aus der Leitung zu sehen; zu diesem Zwecke sind die in der Strecke vorhandenen Feuer- oder Sprenghähne und Luftventile so lange offen zu halten, bis keine Luft mehr austritt. Die Presspumpe ist am höchsten Punkte der Leitung mit dieser zu verbinden, so dass, wenn hier durch den Ablasshahn das Wasser ruhig und stetig, nicht mehr stossweise ausfliesst, mit Sicherheit

auf eine völlige Entfernung der Luft geschlossen werden kann. Ist dies der Fall, so ist durch kurzen Gebrauch der Presspumpe der verlangte Wasserdruck in der Leitung zu erreichen, weil die Pressbarkeit des Wassers eine sehr geringe ist; je mehr jedoch noch Luft in der Leitung ist, desto mehr muss man Wasser hineinpumpen, auch wenn die Leitung ganz dicht ist, um den Wasserdruck auf diese Höhe zu bringen, weil das Volumen der Luft im umgekehrten Verhältnis zum Druck steht. Ein Liter Luft von 1 Atm. Spannung hat bei 15 Atm. Überdruck nur noch $^1/_{16}$ l Rauminhalt; es müsste daher zur Verdichtung von 1 l Luft eine Wassermenge von $^{15}/_{16}$ l eingepumpt werden. Die Rohrleitung bleibt mindestens so lange unter Druck stehen, bis sämtliche Verbindungsstellen nachgesehen sind. Ausserdem wird gewöhnlich bestimmt, dass der Manometer innerhalb einer bestimmten Zeit, etwa 10 bis 15 Minuten, nur um 1 bis 2 Atm. zurückgehen darf. Diese Bestimmung halte ich nicht für sehr praktisch, denn, ist die Leitung völlig luftleer, dann bedeutet ein Rückgang um 1 bis 2 Atm. in 10 bis 15 Minuten noch keinen nennenswerten Wasserverlust, während andrerseits, wenn die Leitung noch grössere Luftmengen enthält, der Manometer auch in 10 bis 15 Minuten noch nicht 1 Atm. zurückgeht, auch wenn schon beachtenswerte Undichtigkeiten vorhanden sind. Ein Kunstgriff der Rohrleger besteht daher darin, die Presspumpe an tief gelegenen Stellen der Leitung aufzustellen und den hier sich einfindenden Kontrollpersonen die Luft- und Druckprobe vorzuführen; in diesem Falle bleibt in den oberen Rohrstrecken noch ziemlich viel Luft, wenn auch bei der Pumpe schon stetig Wasser austritt, und der Manometer steht wie eine Mauer. Dabei gebrauchen sie noch die Vorsicht, die Leitung schon vor Eintreffen der Aufsichtsbeamten probefertig zu machen, d. h. durch Einpumpen die Leitung schon unter höheren Druck zu stellen, so dass dann nur noch wenig gepumpt werden muss, um den Probedruck zu erreichen.

Die Röhren selbst sind ja ohnehin schon zweimal geprüft vor ihrer Verlegung, und die Prüfung des Rohrstranges hat daher hauptsächlich den Zweck, die hergestellten Dichtungen zu untersuchen, wenn auch nicht ausgeschlossen ist, dass durch den Trans-

port und das Verlegen Beschädigungen an den Röhren vorkommen können. Die Hauptsache ist daher, die sämtlichen Dichtungsstellen sorgfältig nachzusehen, solange die Leitung unter Druck steht; Transportbeschädigungen bestehen gewöhnlich in Rissen durch das Aufschlagen der Schwanzenden und sind daher von solcher Durchlässigkeit, dass sie sich schon bei geringem Drucke und selbst unter der Erddeckung sofort bemerkbar machen.

Will man aus dem Rückgange des Manometers einen Schluss auf die Grösse des Wasserverlustes machen, so muss man zunächst nach vollständigem Schlusse aller Luftauslässe die Wassermenge bestimmen, welche erforderlich ist, um den Druck von 0 bis auf 15 Atm. zu bringen. Man kann dies durch Zählen der Hubzahl bei gleichmässigem Hube bewirken. Vergleicht man die eingepumpte Wassermenge mit derjenigen, welche sich ergibt, wenn man den Wasserinhalt der Leitung mit dem Pressungskoeffizienten des Wassers und dem Überdrucke multipliziert, so kann man aus dem sich ergebenden Unterschiede die in der Leitung noch vorhandene Luftmenge berechnen, sowie weiter, wieviel Wasser entweichen muss, damit der Manometer um 1 Atm. zurückgeht. Ist der Wasserinhalt einer Leitung sehr gross, so erzeugt ein und dieselbe Verlustmenge einen geringen Manometerrückgang, während bei kleinem Wasserinhalte der Rückgang dadurch schon sehr auffallend werden kann.

Elfter Abschnitt.

Die Hauswasserleitungen.

Die Hauswasserleitungen haben die Aufgabe, das von der öffentlichen Wasserleitung den Privatgrundstücken zugeführte Wasser den einzelnen Bedarfsstellen zuzuleiten und dort durch entsprechende Zapfvorrichtungen nutzbar zu machen.

Bezüglich der Z u f ü h r u n g und V e r t e i l u n g des Wassers in den Privatgrundstücken (worunter hier alle Grundstücke ver-

standen sind, welche an die öffentlichen Strassen und Plätze grenzen) kann man zwei verschiedene Systeme unterscheiden, nämlich:

1. die beschränkte Wasserzuführung.

   Diese besteht wieder:

   a) in einer ununterbrochenen, gleichmässigen Zuführung, so dass Tag für Tag genau immer dieselbe Wassermenge in der Zeiteinheit geliefert wird;

   b) in der täglichen Zuführung ein und derselben Wassermenge während eines bestimmten Zeitabschnittes, während für den übrigen Teil des Tages die Wasserzuführung unterbrochen ist.

2. Der unbeschränkte Wasserbezug, welcher die Wasserentnahme aus der öffentlichen Leitung nach dem jeweiligen Bedarfe zu jeder Zeit und in beliebiger Dauer gestattet.

Je nach der Grundlage, auf welcher die Verrechnung des Wasserverbrauches beruht, unterscheidet man wieder:

a) Verbrauchsberechnung nach Schätzung.

b) Verbrauchsberechnung nach Wassermesser.

1a. *Die beschränkte, ununterbrochene Wasserzuführung* wird durch den in die Zuleitung kurz vor dem Privatgrundstücke eingesetzten Kaliber- oder Aichhahn vermittelt, dem noch ein Absperr- und Regulierhahn vorgesetzt ist. Der Aichhahn erhält eine Durchgangsöffnung von so geringer Lichtweite, dass selbst bei dem grössten örtlichen Betriebsdrucke der Hahn nur eine kleine Wassermenge z. B. 1 bis 2 Liter in der Minute durchlässt. Dieser Hahn wird nun durch den vorgesetzten Regulierhahn weiter in seiner Durchlassmenge auf dasjenige Maass gebracht, welches der zu liefernden Wassermenge in der Zeiteinheit entspricht und welche bei der im Grundstücke vorhandenen Auslaufsöffnung austreten kann. Ist diese Regelung der gleichmässigen Wasserzuführung vorgenommen, so werden die Hähne durch einen Eisenstab mit einander gekuppelt und plombiert, so dass Un-

befugte eine Änderung des Wasserzulaufes nicht vornehmen können, ohne Gewaltthätigkeit zu verüben. Bei dieser Art Wasserlieferung ist es nötig, einen Sammelbehälter aufzustellen, damit zur Zeit grossen Bedarfes ein Vorrat vorhanden ist und zur Zeit des geringen oder fehlenden Bedarfes das überschüssige Wasser nicht unbenützt fortläuft, sondern angesammelt wird.

Der Sammelbehälter wird an einem möglichst hochgelegenen Orte aufgestellt, damit das Wasser nach allen Bedarfsstellen mit genügendem Drucke geleitet werden kann; seine Grösse ist nach dem zeitweise sich ergebenden Wasserüberschusse zu bemessen. Das Zuleitungsrohr mündet am Boden des Behälters ein, da es zugleich als Verteilungsrohr für die Zapfstellen dient; unterhalb des Sammelbehälters erhält das Zuleitungsrohr einen Absperrhahn, und der Sammelbehälter ist mit einem Überlaufsrohre versehen. Von dem Zuleitungsrohre sind die Nebenleitungen zu den einzelnen Zapfstellen abgezweigt, so dass diese das Wasser teils unmittelbar aus dem Stadtrohrnetz, teils aus dem Sammelbehälter erhalten.

1 b. *Bei der unterbrochenen, beschränkten Wasserzuführung* wird der Absperrhahn vor dem Grundstücke täglich so lange geöffnet, bis das bestimmte Wasserquantum, das von einem mit Wasserstandszeiger versehenen Wasserbehälter aufgenommen wird, geliefert ist; die hierzu erforderliche Zeit wird möglichst kurz bemessen. Der Behälter muss bei dieser Art Wasserbezug grösser sein, als bei der ununterbrochenen Zuführung, weil er in kurzer Zeit die ganze Bedarfsmenge aufnehmen muss, während jener nur dem zeitweisen Überschusse zu genügen hat. Die Einrichtung des Behälters und der Leitungen ist hier dieselbe wie bei dem ununterbrochenen Wasserzulaufe. Die Sammelbehälter sind möglichst frostfrei aufzustellen und zu schützen; stehen sie über Gebälke und Decken, so ist unter dem Behälter eine sogenannte Tropfschale aufzustellen, welche das von dem Behälter bei warmer Witterung ablaufende Schwitzwasser aufnimmt. Muss die Zuleitung in den Behälter über dessen höchstem Wasserstande münden, so verbindet man diese Mündung, um Überlaufswasser möglichst zu verhüten, mit einem Schwimmkugelhahne.

Ausser der notwendigen Aufstellung eines Sammelbehälters

hat der beschränkte Wasserbezug noch den Nachteil, dass das Wasser nicht unter vollem Betriebsdrucke der öffentlichen Leitung und nicht in seiner ursprünglichen Frische benutzt werden kann, und dass grössere Wassermengen unbenützt durch den Überlauf des Sammelbehälters abziehen, weil der tägliche gleich grosse Zulauf unmöglich dem stets wechselnden Wasserbedarfe genau angemessen werden kann. Auch können grosse Wassermengen in kurzer Zeit gar nicht verwendet werden, wenn nicht ungewöhnlich grosse Wasserbehälter zur Aufstellung kommen.

2. Diese Übelstände werden beseitigt durch die nun allgemein übliche *unbeschränkte Wasserzuleitung*, durch welche die Benützung der öffentlichen Wasserleitungen für Privatgrundstücke erst die heutige grosse Bedeutung und Ausdehnung erhalten hat; für die hauswirtschaftliche Verwendung des Wassers hat sich besonders die Wasserabgabe nach *Schätzung* der Förderung des hygienisch wichtigen Wasserverbrauches für Genuss und Reinigung günstig erwiesen. Diese freigebige Wasserzuführung hat allerdings auch Missbräuche im Gefolge, indem oft zwecklos Wasser vergeudet wird, und diese schrankenlose Verschwendung kann besonders in grossen Städten, wo man ohnehin schon nur mit grossen Schwierigkeiten und Kosten die notwendige durchschnittliche Wassermenge beschaffen kann, die Notwendigkeit herbeiführen, den unbeschränkten Wasserbezug nicht mehr nach Schätzung, sondern *mittels Wassermessers zu verrechnen*. Für Orte jedoch, wo die Beschaffung der nötigen Wassermengen keine grossen Schwierigkeiten und Kosten verursacht, kann die Wasserabgabe an Private im hygienischen Interesse gar nicht freigebig genug sein für hauswirtschaftliche Zwecke. Die Schätzung des Wasserbedarfes und die Bemessung der dafür zu entrichtenden Zahlung erfolgt teils in Prozenten des Mietwertes der Wohnung, teils nach der Grösse der heizbaren Räume oder nach der Raumverwendung, z. B. ob Kochküche, Waschküche, Baderaum, Abort; manchmal wird auch das Besprengen der Höfe, Gärten und Bürgersteige nach Schätzung, d. h. nach der Grösse der Sprengfläche bezahlt. Der Wasserbedarf für Viehhaltung und Wagen kann nach Stückzahl eingeschätzt werden. Für den Wasserverbrauch zu gewerb-

lichen Zwecken sollte das Wasser nur mittels Wassermessers abgegeben werden. Als Grundlage für annähernde Berechnung des möglicherweise eintretenden Wasserverbrauchs können die in dem Abschnitte III über den Wasserbedarf gemachten Angaben dienen, z. B. für hauswirtschaftliche Zwecke:

Für jeden heizbaren Raum einer Wohnung kann man durchschnittlich 1 Person als Bewohner rechnen (selbstverständlich ist örtlich je nach der Bevölkerungsdichtigkeit dies Verhältnis sehr schwankend) mit durchschnittlichem täglichen Wasserverbrauch für diese Person

a) für Trinken, Kochen, Reinigen der Wohnung und Küche täglich	30 Liter
b) für Abortspülung täglich 2 mal = 2 . 10	20 „
c) für jede Woche 1 Bad mit 210 Litern .	30 „
	Sa.: täglich 80 Liter.

Der Jahresverbrauch für eine Person oder je einen heizbaren Raum ist demnach 29,2, rund 30 cbm.

Eine Wohnung mit 3 Zimmern, 1 Küche und 1 Baderaum hat demnach 5 heizbare Räume mit einem Wasserverbrauche von 150 cbm jährlich; ist der Wasserpreis 12 Pfg. für den Kubikmeter, so beträgt der jährliche Wasserzins für diese Wohnung 18 Mk.

Selbstverständlich werden bei Einführung einer solchen Zahlungsweise z. B. Leute mit grossen Wohnungen und wenig Köpfen verhältnismässig mehr bezahlen, als solche mit kleinen Wohnungen und viel Köpfen; andrerseits ist aber zu berücksichtigen, dass Leute, die sich für wenige Bewohner eine grosse Zahl Zimmer halten können, auch einen viel grösseren Wasserbedarf für Reinigungszwecke und Bäder haben als die vielköpfigen Bewohner kleiner Wohnungen. Auch ist es nicht unbillig, wenn die Wohlhabenden mit ihren kräftigeren Schultern eine etwas grössere Last für die Unterhaltung der dem öffentlichen allgemeinen Interesse dienenden Wasserversorgung auf sich nehmen, als der wirtschaftlich schwächere Teil der Bevölkerung, dessen Gesundheitsverhältnisse um so günstiger sich gestalten, je grösser sein Wasserverbrauch wird.

Wird der Wasserverbrauch durch Wassermesser bestimmt, so erreicht man damit allerdings, dass der Verbrauch ein mässiger wird; aber die Herabminderung des Verbrauches vollzieht sich gerade bei dem ärmeren Teile der Bevölkerung auf das notwendigste unter Beeinträchtigung der Reinlichkeit, während die weniger zahlreiche Bevölkerung der Wohlhabenden sich durch den Wassermesser im Verbrauche nicht oder nur wenig einschränken lässt. Die allgemeine Einführung der Wassermesser für alle Wasserabnehmer ist daher gerade in grossen Städten mit ihrem oft grauenhaften Zusammendrängen der Menschen in notdürftigen Wohnungen den Gesundheitsverhältnissen nicht förderlich, sondern gefährden diese sogar.

Ausserdem ist der Wassermesser in all den verschiedenen Konstruktionen, die im Gebrauche sind, kein zuverlässiger Messapparat; er ist nur ein mehr oder weniger richtig gehender Geschwindigkeitsmesser, der bei guter Beschaffenheit wohl imstande ist, unter Umständen richtige Durchlassmengen anzuzeigen, aber immer dazu dienen kann, den Wasserabnehmer stets daran zu erinnern, dass er jeden Kubikmeter verbrauchten Wassers auch bezahlen muss. So verschieden die Wassermesser in ihrer Bauart sind, so haben sie doch alle das eine gemeinschaftlich, dass sie erst dann beginnen, den Wasserdurchgang anzuzeigen, wenn eine bestimmte Wassermenge, die für die verschiedenen Konstruktionen eine andere ist, hindurchfliesst und dass sie nur innerhalb gewisser Verbrauchsgrenzen die Durchflussmenge richtig anzeigen, worin ebenfalls für die einzelnen Konstruktionen sich Abweichungen ergeben; die erstgenannte Eigentümlichkeit bezeichnet man als den Empfindlichkeits-, die letztgenannte als den Genauigkeitsgrad der Wassermesser.

Nachstehende Zusammenstellung enthält für Wassermesser verschiedener Durchgangsweiten die Anzahl Liter Wasser in der Stunde, bei welchen der Wassermesser sich zu bewegen beginnt, ferner die Durchflussmenge, bei welcher die angezeigte Wassermenge annähernd gleich der wirklichen Durchflussmenge, und endlich die Durchflussmenge, wobei der Druckverlust im Wassermesser = 10,0 m ist.

Tabelle XXV.

Über Wassermesserleistungen, in Litern für die Stunde.

	Durchgangsweite in Millimetern	10	15	20	25	30	40
Durchflussmengen in Liter für die Stunde	wenn die Bewegung und das Anzeigen beginnt . . .	40	50	60	80	120	150
	wenn die angezeigte Wassermenge annähernd gleich der Durchflussmenge	100	160	200	250	300	400
	wenn der Durchfluss einen Druckverlust von 10 m Wassersäule veranlasst . . .	2000	3000	5000	7000	10000	20000

Die Angaben obiger Tabelle beziehen sich auf neue Wassermesser, gebrauchte Wassermesser ergeben je nach ihrer Abnützung und Verunreinigung entsprechend ungünstigere Leistungen. Man sieht daraus, dass man z. B. durch einen Wassermesser von 10 mm D. in 24 Stunden fast 1 cbm Wasser beziehen kann, ohne dass derselbe einen Verbrauch während dieser Zeit angibt; mit einem 25 mm-Wassermesser das Doppelte. Man braucht also nur einen Sammelbehälter entsprechender Grösse aufzustellen, um den grössten Teil des Verbrauches unentgeltlich zu beziehen. Beginnt endlich der Wassermesser mit wachsender Durchflussmenge sich zu bewegen, so zeigt er noch sehr unrichtig an, nämlich zu wenig; seine Genauigkeit nimmt erst in dem Maasse zu, als die Durchflussmenge sich seiner Normalleistung nähert; sie nimmt wieder ab, wenn der Durchfluss weiter zunimmt und die Normalleistung beträchtlich überschreitet. Für die Wasserlieferanten ist es daher vorteilhaft, die Wassermesser mit möglichst kleinen Durchgangsweiten zu verwenden, weil diese eine grössere Empfindlichkeit besitzen und schon bei geringeren Durchflussmengen ihre grösste Genauigkeit erreichen; darüber hinaus schadet ihr Fehlanzeigen nicht mehr dem Lieferanten, sondern dem Konsumenten. Umgekehrt hat der Konsument ein Interesse daran, dass er, seinem Verbrauch entsprechend, einen Wassermesser mit möglichst grosser Durchgangsweite erhält.

Die Wassermesser werden im allgemeinen bis zu Durchgangs-

weiten von 100 mm D. angefertigt; hat nun die Rohrleitung, deren Wasserlieferung gemessen werden soll, einen grössern Durchmesser, so werden zwei Wassermesser, wenn nötig 3 und 4, nebeneinander versetzt und durchgehend mit der Leitung verbunden, wobei durch weiteres Einsetzen von Absperrvorrichtungen vor und hinter jedem Wassermesser die etwa nötige Ausschaltung einzelner Wassermesser ermöglicht wird.

In Privatgrundstücken ist es häufig der Fall, dass zeitweise gegenüber dem täglichen Verbrauche ein sehr grosser Verbrauch stattfindet, wofür der gewöhnliche Wassermesser zu klein ist; z. B. wenn in einem Grundstücke Feuerhähne vorhanden sind, die entweder zu ausgedehnten Besprengungen von grossen Flächen oder bei Feuersgefahr benützt werden. Um diesem Vorkommen zu genügen, setzt man in die Zuleitung einen grossen, dieser Zuleitung entsprechenden Wassermesser und neben diesen, durch eine Umgangsleitung von entsprechend kleinerer Lichtweite mit der Zuleitung verbunden, einen kleinen Wassermesser für den gewöhnlichen Verbrauch. Hinter dem grossen Wassermesser befindet sich noch ein Rückschlagsfederventil, das sich erst dann öffnet, wenn durch erhöhten Wasserverbrauch und Druckverlust im kleinen Wassermesser der daraus sich ergebende Überdruck auf das Ventil die Federkraft überwindet. Sobald sich das Rückstauventil öffnet, nimmt das Wasser auch seinen Weg durch den grossen Wassermesser, und im kleinen Wassermesser wird die demselben entsprechende Höchstgeschwindigkeit nicht überschritten.

Fig. 173 ist eine Teilung der 150 mm weiten Hauptleitung in 3 mit Wassermessern ausgestattete Leitungen von 80 mm D. und Fig. 174 die Vereinigung eines grossen mit einem kleinen Wassermesser für einen stark wechselnden Wasserverbrauch dargestellt.

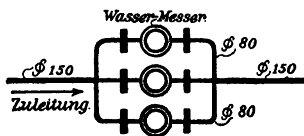


Fig. 173.

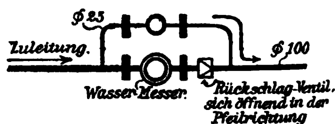


Fig. 174.

Die Verbindung der Wassermesser mit der Rohrleitung geschieht mittels Verschraubungen für die kleinen Lichtweiten bis 30 mm D., für die grösseren mittels Flantschen, so dass sie jederzeit ausgewechselt werden können; um dies zu erleichtern, gibt man dem Bleirohre nächst dem Wassermesser eine Ω förmige Ausbiegung, die eine Verkürzung und Verlängerung des vom Wassermesser eingenommenen Raumes leicht zulässt. Bei Eisenrohrleitungen fügt man zu diesem Zwecke ein Stück Bleirohr ein. Diese Erleichterung der Auswechselung von Wassermessern ist sehr nötig, weil jene öfter, sei es behufs Reinigung und Ausbesserung, sei es behufs Nachaichung, vorgenommen werden muss.

Durch Fig. 175 ist ein Wassermesser, System Dreyer, Rosenkranz & Droop, im Auf- und Grundriss dargestellt.

In dem Unterteile *A* bewegt sich an senkrechter Welle das Messrad aus Hartgummi; die Richtung des Wasserlaufes ist durch die Pfeile angedeutet und im Grundrisse ersichtlich, in welcher Weise das Wasser auf die Flügel des Rades wirkt und dieses bewegt. Die Bewegung des Rades wird durch die stehende Welle auf ein Übersetzungswerk, aus verschiedenen Zahnrädern bestehend, übertragen und von diesem auf ein Zählwerk mit Zifferblatt, die sich beide in dem oberen Gehäuse *B* befinden. Der Oberteil des Gehäuses *B* kann nach Lösung der Deckelschraube *n* abgenommen, und ebenso das Zähl- und Übersetzungswerk behufs Reinigung entfernt und wieder eingesetzt werden. In der Eingangs-

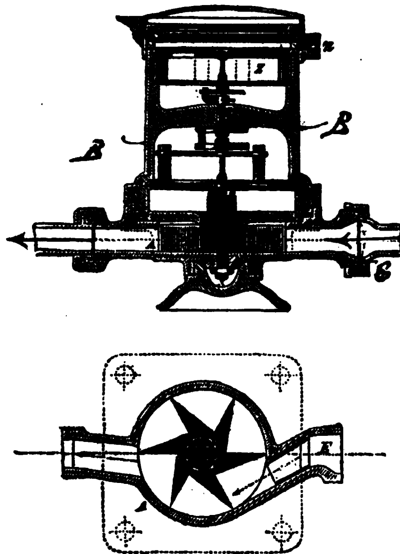


Fig. 175.

öffnung bei E ist ein Seiher angebracht zur Abhaltung von Unreinigkeiten.

Ähnlich sind im allgemeinen alle Flügelradmesser konstruiert, sie weichen hauptsächlich durch die verschiedene Bildung der Flügelräder von einander ab.

In Fig. 176 ist ein Zifferblatt gezeichnet, wie sie bei Wassermessern zur Ablesung des Wasserverbrauches üblich sind. Die am äussersten Rande angebrachte Teilung bezeichnet Liter, und zwar sind die grossen Zahlen die ganzen Liter und die zwischenliegenden Teilstriche die Zehntelliter; der grosse Zeiger gilt für diesen Teilkreis.

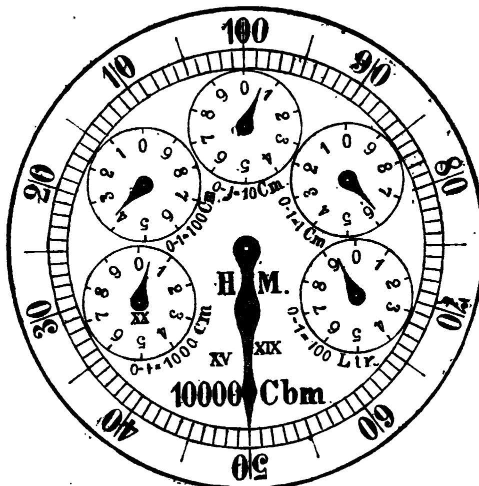


Fig. 176.

Innerhalb dieses äusseren Kreises befindet sich eine Gruppe von fünf kleinen Zifferblättern, wovon das unterste, rechts stehende von Zahl zu Zahl je 100 l anzeigt; bei jeder ganzen Umdrehung des grossen Zeigers macht demnach der kleine Zeiger dieses Zifferblattes nur einen Fortgang von einer Zahl zu der nächstfolgenden. Das nach oben anstossende zweite kleine Zifferblatt zeigt von Zahl zu Zahl je 1 cbm und so fort jedes Zifferblatt das Zehnfache des vorhergehenden. Die Ablesung des oben in Fig. 176 gezeichneten Standes der Zeiger ergibt z. B. einen Wasserdurchfluss von 306 cbm und 950 l. Bei der Ablesung beginnt man unten links mit dem ersten Zifferblatt für 0 bis 1 = 1000 cbm.

Die Flügelradwassermesser sind, wie schon erwähnt, Geschwindigkeitsmesser; Wassermesser, welche das Wasser unmittelbar räumlich messen, sind die Kolben- und Scheibenwasser-

messer. Diese liefern, solange sie noch wenig benützt sind, und bei reinem Wasser, ziemlich genaue Messergebnisse; ihre metallnen Gleitflächen nützen sich jedoch bald ab, schliessen nicht mehr dicht, und dann ist es mit der Genauigkeit auch vorbei, und die Ausbesserungsarbeiten beginnen; ausserdem beträgt der Anschaffungspreis das Zwei- bis Dreifache desjenigen der Flügelradwassermesser.

Die allgemeinste Verwendung haben daher auch die Flügelradmesser verschiedener Konstruktion gefunden, da sie trotz aller Mängel immer noch das kleinere Übel sind und jedenfalls dem Zwecke genügen, den Wasserverbrauch in mässigen Grenzen zu halten.

Die Wassermesser werden gewöhnlich unmittelbar hinter der Eigentumsgrenze in einem frostfreien Raume untergebracht; kann man hierzu einen sauberen, bequem zugänglichen Kellerraum auswählen, oder, wenn dies nicht möglich ist, einen frostsichern Raum im Erdgeschosse, wie z. B. eine Küche, so ist dies die bequemste und einfachste Art der Aufstellung. Können solche vorhandenen Räume nicht benützt werden, so muss ein besteigbarer Wassermesserschacht gebaut werden, in welchem das Ablesen und die Auswechselungen bequem vorgenommen werden können. Unter der gusseisernen Abdeckung der Einsteigöffnung bringt man noch ein Schmutzblech an, und der Wassermesser selbst mit dem dabei sitzenden Absperr- und Entleerungsventil wird durch einen Holz- oder Blechkasten noch überdeckt.

Die Preise für die Wassermesser sind folgende:

Lichtweite	10 mm	13 mm	15 mm	20 mm	25 mm	30 mm	40 mm	50 mm
Mark	35.—	40.—	42.—	45.—	50.—	65.—	75.—	110.—

Lichtweite	60 mm	80 mm	100 mm	125 mm	150 mm	200 mm
Mark	150.—	200.—	250.—	320.—	425.—	580.—

Gewöhnlich werden die Wassermesser von dem Wasserlieferanten beschafft und aufgestellt, und wird dem Wasserabnehmer für Miete und Unterhaltung ein Betrag von 15 bis 20 % der Selbstkosten berechnet.

Die *Verteilungsleitungen innerhalb der Privatgrundstücke* sind im allgemeinen für den unbeschränkten Wasserbezug möglichst

einfach, weil das Wasser mit vollem Betriebsdrucke den Zapfstellen zugeleitet wird und Sammelbehälter nicht erforderlich sind. Von der Zuleitung ab werden die Leitungen auf kürzestem Wege zu den Zapfstellen geführt, möglichst durch Räume, welche dem Froste nicht ausgesetzt sind, und besonders nicht auf Umfangsmauern, sondern auf Scheidemauern. Dabei müssen alle Leitungen nach einem Punkte hin Gefälle haben, wo ein Entleerungshahn sich befindet, damit man die Röhren bei Frostgefahr entleeren kann. Diese Entleerungen sind gewöhnlich mit dem Absperrhahn einer Hauptleitung verbunden, so dass man die Hauptleitungen mit ihren Zweigleitungen im allgemeinen mit Gefälle nach ihrem Haupthahn anlegt; wo dies nicht überall möglich ist, müssen Zwischenentleerungshähne eingesetzt werden, oder einzelne Rohrstrecken erhalten Gefälle nach einer Zapfstelle, wohin sie entleeren.

Da, wo die Strassenzuleitung in das Privateigentum eintritt, also hinter der Fundamentmauer des Gebäudes, z. B. wird in einem geeigneten frostfreien Raume der Haupthahn mit Entleerung eingesetzt, und wo ein Wassermesser erforderlich ist, kommt dieser gleich hinter diesem Haupthahn.

Von dieser Stelle setzt sich dann eine Hauptleitung oder mehrere solche, wovon jede einen besonderen Absperr- und Entleerungshahn erhält, nach den mit Wasser zu versehenen Räumen fort, meist als Steigröhren durch die oberen Stockwerke aufsteigend und hier durch Zweigleitungen nach den Bedarfsstellen das Wasser verteilend.

An manchen Orten ist es üblich, die obersten Endpunkte der Steigleitungen mit einem kleinen gusseisernen Windkessel auszurüsten, um dadurch eine nachteilige Wirkung etwa entstehender Wasserschläge auf die Rohrleitung zu verhüten. Ich habe jedoch kein grosses Vertrauen auf eine solche Wirkung dieser Windkessel, weil die Luft darin bald schwindet, vom Wasser selbst aufgenommen wird, und für Erneuerung der Luftfüllung in Privatgrundstücken in der Regel niemand besorgt ist; ich glaube daher, dass man sich die Kosten für den Windkessel sparen kann, der in diesem Falle ein Windbeutel ist.

Die Röhren werden, soweit sie durch oberirdische oder Kellerräume sich erstrecken, im allgemeinen unmittelbar auf die Mauer- oder Deckenfläche verlegt und mittels Rohrhaken und Rohrschellen, auf Holzwänden mittels Rohrbänder befestigt. Gehen jedoch Wasserröhren durch Wohnzimmer und Küchen, so ist es wegen des Schwitzwassers, welches sich an den kalten Wasserröhren niederschlägt und abläuft, zu empfehlen, die Röhren in Mauernuten zu verlegen. Häufig werden diese Nuten wieder zugeputzt und übertüncht oder tapeziert; zweckmässiger, allerdings auch kostspieliger ist es jedoch, diese Leitungsnuten in den Mauern mit gehobelten Brettern oder Blech zu verkleiden in der Weise, dass im Bedarfsfalle diese Verkleidung leicht abzuschrauben und das Rohr wieder zugänglich ist. Diese Verkleidungen erhalten einen entsprechenden Ölanstrich oder Tapetenüberzug.

Leitungsstrecken, welche dem Froste ausgesetzt sind, werden gegen das Zufrieren durch Umhüllungen mit schlechten Wärmeleitern, wie Asche, Sägespähne, Filz und Schlackenwolle zu schützen versucht, bei anhaltendem Froste aber meist ohne Erfolg, denn eine solche Umhüllung kann den Prozess der Abkühlung und des schliesslichen Gefrierens nur verzögern, aber nicht unbedingt verhindern. Wenn das Wasser in der fraglichen Strecke nicht längere Zeit, z. B. die ganze Nacht, ruhig steht, sondern durch Gebrauch der Zapfstellen öfter durch Ablaufen von frischem Wasser mit der Durchschnittstemperatur ersetzt wird, so kann der Schutz durch Umhüllung genügen; ist dies nicht der Fall, so gefriert das Rohr trotz der Umhüllung. Das sicherste Mittel ist das Entleeren der betreffenden Rohrstrecke mittels zweckmässig angebrachter Absperr- und Entleerungsventile während der Zeit des nicht dringlichen Wasserbedarfes, oder auch ständiges Laufenlassen einer kleinen Wassermenge, so dass eine Abkühlung des Wassers bis zu 0° Temperatur vermieden wird. In Verbindung mit einer Schutzumhüllung ist die zur Erhaltung einer positiven Wassertemperatur erforderliche Abflussmenge eine geringere, als wenn keine schützende Decke vorhanden wäre. Die Verwendung von in Streifen geschnittenem Filz zur Rohrumwicke-

lung hat den Vorteil, dass er zu seinem Zusammenhalten keines Schlauches bedarf, wie die losen Stoffe der Asche, Schlackenwolle u. dgl. Dagegen ist Filz, wenn er nicht in einem Holzschlauche oder in einer verkleideten Mauernute untergebracht ist, baldiger Zerstörung ausgesetzt, besonders in Räumen mit dunstreicher Luft, wie in Küchen, wo im Sommer die Dünste sich auf den kühleren Wasserröhren, deren Temperatur ja auch der Filz zum Teil annimmt, niederschlagen, den Filz nässen und zersetzen.

Das Material für die Röhren der Hausleitungen ist, da es sich gewöhnlich um kleine Lichtweiten bis 25 oder 30 mm D. handelt, Blei oder Eisen; gusseiserne kommen für die grösseren Lichtweiten und besonders für unterirdische Leitungen oder solche in feuchten Räumen in Verwendung.

Zinnröhren mit Bleimantel, sowie Zinn-, Messing- und Kupferröhren sind nur für bestimmte Zwecke in Benützung.

Die allgemeinste Verwendung finden die Bleiröhren bei Hauswasserleitungen, weil deren Verlegung möglichst einfach und leicht von statten geht; sie lassen sich leicht nach allen Richtungen biegen, bedürfen zur Verbindung von Bleirohr mit Bleirohr keiner besonderen Form- und Verbindungsstücke, ebenso nicht zu den Abzweigungen von Nebenleitungen. Etwaige Undichtigkeiten und Beschädigungen sind leicht auszubessern, ohne dass man die Rohrleitung zerlegt, die Herstellungskosten der Rohrleitungen sind billig und die Abnützung ist eine äusserst geringe. Sowohl in der Erde als an der Luft und in Berührung mit dem Wasser sind sie nach Jahrhunderten noch zur Wasserleitung brauchbar; die erste Oxydation überzieht die Oberfläche des Bleies mit einem Häutchen, welches vor weiterer Oxydation schützt.

Im Innern der Röhre oxydiert das Blei durch den im Wasser enthaltenen freien Sauerstoff, und das Erzeugnis dieser Zersetzung kann von dem Wasser aufgenommen und weitergeführt werden. Über die gesundheitsschädliche Wirkung von Bleiröhren der Wasserleitungen ist schon viel geredet und geschrieben worden; so viel steht jedoch fest, dass harte Wasser, die also Kalk und Kohlensäure gelöst enthalten, das Blei nicht merkbar angreifen,

sehr weiche Wasser äussern dagegen eine stärkere Wirkung auf das Blei der Röhren, weshalb man die Bleiröhren mit einem schützenden Schwefelüberzug der innern Rohrfläche versieht, indem man sie mit einer Lösung von Schwefelkalium behandelt und dadurch einen Schwefelblei-Überzug bildet.

Denselben Zweck haben die Zinnröhren mit Bleimantel, die aus einem dünnwandigen hohlen Zinncylinder bestehen, der von einem Bleimantel umgeben ist. Der bisherige Erfolg damit entspricht jedoch nicht den Erwartungen. Biegungen dieser Röhren veranlassen gewöhnlich Risse im Zinn, sowie auch bei Abzweigungen der Zusammenhang von Zinn- und Bleirohr unterbrochen wird, wodurch der erwartete Schutz gegen Bleizersetzungen ohnehin fraglich wird; ferner entsteht häufig durch die mit höherem Drucke erfolgenden Probepressungen der Leitungen wegen der verschiedenen Dehnbarkeit von Zinn und Blei eine Trennung des Bleimantels vom Zinnrohre, wodurch die Widerstandsfähigkeit der Röhren stark benachteiligt wird. Diese Art Röhren hat daher keine nennenswerte Verbreitung gefunden.

Die Bleiröhren werden dadurch erzeugt, dass man geschmolzenes Blei mittels hydraulischer Presse durch eine mit einem Dorne versehene ringförmige Öffnung presst, wobei es erstarrt und die Röhre bildet.

Die Verbindung der Bleiröhren unter sich erfolgt gewöhnlich mittels Lötung durch die Lötlampe; die Verbindung der Bleiröhren mit andern Metallröhren entweder mittels Verschraubungen oder mittels Flantschen. Die Verschraubungen, die auch zur Verbindung von Blei mit Blei angewendet werden, wenn eine leichte Löslichkeit und Wiederherstellung der Verbindung beabsichtigt wird, bestehen aus zwei Teilen (Fig. 177), die mittels einer Mutter zusammengeschraubt und mittels Gummi- oder Lederscheibe gedichtet werden. Ist das Bleirohr mit Eisenrohr zu verbinden, so ist der eine Teil der Verschraubung nicht als Lötzapfen, sondern als Gewinde für Eisenrohr gebildet.

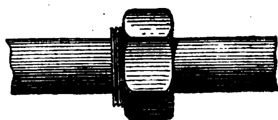


Fig. 177.

Die Flantschbildung wird für das Bleirohr dadurch her-

gestellt, dass man dasselbe an dem betreffenden Ende umbördelt und über das Rohr eine schmiedeeiserne Flantsche hinter den Bördel schiebt und zur Verbindung mit dem andern Flantschrohre durch Mutterschrauben zusammenpresst (Fig. 178).

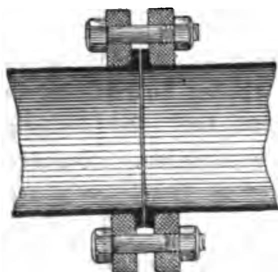


Fig. 178.

Der Bördel der Bleiröhren kann dabei zugleich als Dichtungsring dienen.

Die Bleiröhren sind hauptsächlich gegen äussere, gewaltsame Verletzungen empfindlich, weshalb man sie an Stellen, wo sie solchen stark ausgesetzt sind, entweder in verkleidete Mauernuten verlegt oder durch Leitungen aus schmiedeeisernen Röhren ersetzt.

Die Stärke der Bleiröhren mit Rücksicht auf ihre Widerstandsfähigkeit gegen Wasserdruck wird durch ihr Gewicht für den laufenden Meter ausgedrückt; die Stärke der angewendeten Bleiröhren ist örtlich sehr verschieden, schon wegen der oft beträchtlichen Unterschiede des Betriebsdruckes zwischen den einzelnen Wasserleitungen.

Nachstehende Zusammenstellung (Tab. XXVI) enthält für die Bleiröhren und für den gewöhnlichen Betriebsdruck von 5,0 Atm. die durchschnittlich üblichen Gewichte in Kilogramm für ein laufendes Meter. Die Wandstärke ist berechnet nach der Gleichung $W = 1,0 + 0,009 \cdot D \cdot A$ mm, D = Lichtweite, A = 20 Atm. Probedruck, spezif. Gewicht des Bleies = 11,4.

Tabelle XXVI.

Lichtweite:	10 mm	13 mm	15 mm	20 mm	25 mm	30 mm
Berechnete Wandstärke und Gewichte.						
Wandstärke in Millimeter	2,8	3,34	3,75	4,6	5,5	6,4
Gewicht des lauf. Meters in k	1,30	1,85	2,50	4,00	6,00	8,2
Handelsübliche Wandstärke und Gewichte.						
Wandstärke in Millimeter	3,00	3,5	3,75	4,6	5,5	6,5
Gewicht des lauf. Meters in k	1,5	2,15	2,50	4,00	6,00	8,4

Schmiedeeiserne Röhren.

Die schmiedeeisernen Röhren werden aus Blechstreifen gezogen und die Naht geschweisst; dabei werden die Blechstreifen an der Naht entweder stumpf zusammengestossen oder über einander geplattet.

Die mit Überschlag geschweissten Röhren verdienen insofern den Vorzug gegen die stumpf geschweissten Röhren, als sie zum Platzen während des Umbiegens weniger geneigt sind. Die Verbindung der schmiedeeisernen Röhren für Hausleitungen geschieht hauptsächlich durch Verschraubung mittels Muffen und Dichtung mittels um die Gewinde gewickelten Hanfes; Bleiweiss- oder Mennigkitt sollen zur Dichtung nicht verwendet werden, sondern die Gewinde sollen so ausgeschnitten sein, dass eine Hanfeinlage zur Dichtung genügt.

Erfolgt die Verbindung mittels Flantschen, so können diese entweder auf das Rohrgewinde geschraubt oder an die Rohrenden hart angelötet oder auch angeschweisst sein. Die Dichtung der Flantschverbindungen wird wie bei den gusseisernen Röhren mittels Leder- und Gummiringe (letztere mit wenigstens doppelter Hanfeinlage) oder durch Bleiringe bewirkt.

Für die Abzweigungen, Bogen oder Übergänge von einer Lichtweite zu einer anderen, sind besondere Formstücke erforderlich.

Um die Verschraubung zweier Röhren wieder lösen zu können, wendet man sogenannte Langgewinde an, die aber dann noch mit Gegenmutter versehen sein müssen, die einen Dichtungsring gegen die Verbindungsmuffe presst. Zum Verschlusse von einzelnen Öffnungen an Rohrenden werden Stöpsel oder Kappen aus Schmiedeeisen aufgeschraubt.

Im allgemeinen gilt für schmiedeeiserne Leitungen dasselbe, was bei den Bleileitungen erwähnt wurde, nur ist zu berücksichtigen, dass Eisenleitungen nicht wie Bleirohre am Verlegungsorte selbst auseinandergeschnitten und wieder verbunden werden können, weshalb es in Räumen, wo eine Zerlegung der Leitung und Wiederverlegung störend ist, notwendig wird, bei jedem Decken- oder Mauerdurch-

gange die schmiedeeiserne Rohrleitung entweder mit lösbarer Flantschverbindung oder mit Langgewinde und Gegenmutter zu versehen.

Zum Schutze gegen inneres und äusseres Rosten werden sie auf galvanischem Wege verzinkt. Die Befestigung geschieht auch hier wie bei den Bleileitungen mittels Rohrhaken, Rohrbändern oder Rohrschellen. In nachstehenden Abbildungen (Fig. 179 bis 189) sind die verschiedenen Verbindungsstücke dargestellt.

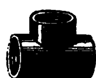

Fig. 179.


Fig. 180.


Fig. 181.

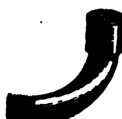

Fig. 182.


Fig. 183.


Fig. 184.


Fig. 185.


Fig. 186.

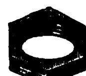

Fig. 187.


Fig. 188.


Fig. 189.

Nachstehende Zusammenstellung (Tabelle XXVII) enthält die Preise schmiedeeiserner Röhren und ihrer Verbindungsstücke in Mark.

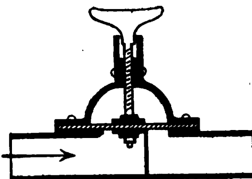
Tabelle XXVII.

	Lichtweiten in Millimeter							
	10	13	15	20	25	30	40	50
T-Stücke (Fig. 179) . .	0.60	0.80	0.90	1.—	1.30	1.80	2.50	3.75
Kreuzstücke (Fig. 180) .	1.40	1.90	2.10	2.40	3.—	4.—	4.80	7.—
Kniestücke (Fig. 181) .	0.70	0.80	0.90	1.—	1.40	2.—	2.50	3.80
Bogenstücke (Fig. 182) .	0.60	0.70	0.80	0.90	1.30	1.75	2.25	2.30
Übergangsmuffen (Fig. 183)	0.30	0.40	0.50	0.55	0.60	0.80	1.—	1.20
Kappen u. Stöpsel (Fig. 184 u. 185)	0.30	0.35	0.45	0.45	0.50	0.65	0.80	1.20
Verschraubung, eiserne (Fig. 186)	0.60	0.65	0.70	0.80	1.—	1.40	1.80	2.50
Gegenmutter (Fig. 187) .	0.20	0.30	0.30	0.30	0.35	0.50	0.70	1.—
Rohrflantschen zum Aufschrauben (Fig. 188) .	0.80	1.—	1.10	1.20	1.40	1.50	1.80	2.50
Rohrhaken und Bänder (Fig. 189)	0.02	0.03	0.035	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10

Die Apparate zur Nutzbarmachung des Wassers an den Bedarfsstellen.

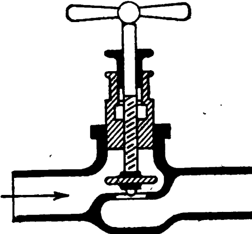
Die Durchlauf- und Absperrventile, sowie die Zapfventile weisen bezüglich der Ventilkonstruktion zwei wesentliche Unterschiede auf; die älteste Konstruktion ist in Fig. 190 abgebildet; dabei wird das Öffnen und Schliessen der Durchgangsöffnung durch eine zwischen das Ober- und Unterteil eingespannte Gummiplatte, welche durch eine mit Handgriff drehbare Schraubenspindel auf- und abbewegt wird, bewirkt.

Die neuere Konstruktion ist die in Fig. 191 dargestellte, wo das Öffnen und Schliessen des Durchganges durch ein Tellerventil



Gummihahn.

Fig. 190.



Ventilhahn.

Fig. 191.

mit Lederdichtung erfolgt, das sich durch Drehen einer Schraubenspindel, welche durch eine Stopfbüchse nach aussen verlängert ist, auf und ab bewegen lässt. Die letzteren werden gewöhnlich als Ventilhähne, die erstgenannten dagegen als Niederschraub- oder Gummihähne benannt.

Die Gummihähne haben den Vorzug, dass sie keiner Stopfbüchse bedürfen, dagegen ist die Gummiplatte nicht so dauerhaft, wie die Lederdichtung der Ventilhähne; daher haben sich die Ventilhähne der ausgedehntesten Anwendung zu erfreuen, während die Gummihähne an vielen Orten sogar vom Gebrauche ausgeschlossen sind.

Je nach der Bestimmung der Hähne sind dieselben verschieden gestaltet; die Fig. 192 bis 209 veranschaulichen die gebräuchlichsten Arten von Hähnen.

Fig. 192 (Taf. XV) Privathaupthahn mit Konus und Kappe, sowie mit Entleerung für Bleiröhren, einerseits mit Verschraubung. Während im allgemeinen Konushähne für Wasserleitungen nicht angewendet werden, weil sie schon bei einer Vierteldrehung öffnen und schliessen und durch den Wasserdruck, wenn dieser einseitig ist, schwer drehbar sind, so sind sie doch als Haupthähne vor den Privatgrundstücken und auch innerhalb derselben als Haupthähne, welche nur selten gebraucht werden, in Verwendung. Zum Zwecke der Entleerung ist das Gehäuse, wie aus der Zeichnung ersichtlich, durchbohrt, und der Konus besitzt eine mit dieser Öffnung und mit dem Ausgangsstutzen in Verbindung stehende Rinne, sobald der Hahn geschlossen ist. Das hinter und über dem Hahne im Hausleitungsrohre nach Schluss des Hahnes stehen gebliebene Wasser läuft daher durch diese Rinne und die Gehäusedurchbohrung nach aussen ab, die Leitung entleert sich. Wird der Hahn geöffnet, so kommt die Rinne durch die Konusdrehung auf die entgegengesetzte Seite des Gehäuses zu liegen, wo dieses nicht durchbohrt ist, das Wasser aus der Hausleitung also nicht ablaufen kann.

Fig. 193 (Taf. XV) ist ebenfalls ein Konushahn mit Entleerung aber ohne Kappe; er unterscheidet sich vom vorhergehenden dadurch, dass bei diesem der Konus durch Anziehen der aufgeschraubten Kappe ins Gehäuse gedrückt wird, während bei jenem ohne Kappe der Konus durch eine am unteren Ende desselben befindliche Mutter mit Unterlagscheibe festgezogen wird. Der Hahn mit Kappe hat demnach ein unten geschlossenes Gehäuse, und oben ist das Gehäuse durch die Kappe abgeschlossen; ein Wasseraustritt nach aussen bei undichtem Konus ist dadurch möglichst verhindert. Bei dem Hahne ohne Kuppe ist dagegen das Gehäuse oben und unten durchbrochen und nur durch den guten Schluss des Konus abgedichtet. — Der in Fig. 193 abgebildete Haupthahn mit Entleerung ist für Eisenrohr und hat einerseits Verschraubung für Bleirohr.

Fig. 194 (Taf. XV) zeigt einen Ventilhaupthahn mit seitlichem Entleerungshähnchen; während die Entleerung bei den oben angeführten Konushähnen selbstthätig ist, erfolgt bei diesem Ventilhahn die

Entleerung erst durch Öffnung des Seitenhähnchens von Hand. Fig. 195 (Taf. XV) dagegen ist ein Ventilhahn, der auch selbstthätige Entleerung hat. Die Ventilspindel ist hier nach unten verlängert, und diese Verlängerung ist hohl und durch eine Stopfbüchse nach aussen geführt. Bei geschlossenem Ventile ist dieser Spindelhohlraum durch eine seitliche kleine Durchbohrung der Spindel mit dem Ausgangsstutzen in Verbindung, während bei Öffnung des Ventiles diese Bohrung durch die Stopfbüchse geschlossen wird.

Die im Schnitte gezeichneten (Fig. 190 u. 191 S. 503) sind Absperrhähne ohne Entleerung, wie sie stellenweise, sei es zur zeitweisen gänzlichen Absperrung oder zur Regelung des Wasserlaufes eingesetzt werden.

Fig. 196 (Taf. XV) zeigt einen gewöhnlichen Ventil-Zapfhahn mit Handrädchen; die Zapfhähne werden mittels Wandscheiben (Fig. 197 und 198, Taf. XV) an die Leitung angeschlossen. Fig. 197 ist eine Wandscheibe mit Lötzapfen für Bleiröhren, welche mit dem Ende einer Leitung verbunden wird, und Fig. 198 eine Wandscheibe für Eisenrohr, welche mit einer durchgehenden Leitung verbunden wird. Die Wandscheiben werden auf den Mauern mittels in diese eingelassene, vergypste Eichenholzdübel und Holzschrauben befestigt. Bei Eisenrohrleitungen werden manchmal kleiner Ersparnisse wegen, statt der messingnen Wandscheiben, schmiedeeiserne Knie- und T-Stücke zum Anschrauben der Zapfhähne verwendet, welches Verfahren nicht zu empfehlen ist, weil diese schmiedeeisernen Verbindungsstücke, ohne feste Verbindung mit der Wand, durch den Gebrauch des Hahnes locker werden und sich in ihrem Gewinde drehen. —

Für den Fall, dass der Zapfhahn mit seiner Mündung nicht weit genug von der Wand absteht, schraubt man zwischen Wandscheibe und Hahn ein messingnes Verlängerungsstück (Fig. 199), das in verschiedenen Längen zu erhalten ist. Das Wasser gerät beim Durchgange durch die Zapfhähne in wirbelnde Bewegung, welche sich bis zur Ausmündung fortsetzt, so dass hier das Wasser nicht in einem geschlossenen Strahle, sondern in einem auseinandergehenden Strahlenbündel ausläuft und auseinanderspritzt. Dies zu

vermeiden, versieht man den Auslauf mit einer sogenannten Zunge, wodurch die Wirbelungen unterbrochen werden (siehe die punktierte Linie in Fig. 196), oder man schraubt vor die Auslaufmündung eine konische Auslauftülle, welche die auseinandergehenden Wasserstrahlen zusammenfasst (siehe Fig. 200, Taf. XV). Der Ventilzapfhahn mit Auslauftülle ist mit Steckschlüssel versehen, damit nicht Unberufene den Hahn öffnen können; ferner ist an demselben ein Konussperrhahn angebracht, um bei etwa nötiger Reinigung oder Ausbesserung des Ventilinnern den Wasserzulauf unterbrechen zu können, ohne dass anderen Zapfstellen dadurch das Wasser entzogen werden muss durch Absperrung des Haupthahnes. Ferner kann mittels dieses Sperrhahnes der Auslauf derart geregelt werden, dass z. B. bei ganzer Öffnung des Zapfventils doch nicht mehr Wasser auslaufen kann, als das unter dem Zapfhahn immer anzubringende, mit Entwässerung versehene Ausgussbecken abzuführen vermag. Durch Offenstehenlassen der Zapfhähne aus Versehen sind schon häufig diese Ausgussbecken übergelaufen, und das Wasser hat sich in den umgebenden Raum schadenbringend ergossen.

Besser als diese mit dem Zapfventil vereinigten Sperrhähne ist die Einschaltung eines besonderen Absperrventils vor dem Zapfhahne, weil damit die Möglichkeit gegeben ist, den Zapfhahn selbst auswechseln zu können ohne Störung für andere Zapfstellen.

Fig. 201 (Taf. XV) zeigt einen Ventil-Zapfhahn mit Schlauchverschraubung; für den gewöhnlichen, unmittelbaren Wasserabfluss wird statt der Schlauchverschraubung eine Auslauftülle vor die Mündung geschraubt, während jene nur benutzt wird, wenn der Hahn als Sprenghahn dienen und mit einem Gummi- oder Hanfschlauch verbunden werden soll.

Fig. 202 (Taf. XV) ist ein Ventil mit Schlauchverschraubung, das hauptsächlich nur Sprengzwecken dient; es wird in Höfen und Gärten unmittelbar unter der Bodenoberfläche aufgestellt und mittels zweier angegossener Lappen durch Holzschrauben auf eine eichene Bohle befestigt und durch einen gusseisernen Hahnkasten von elliptischer Form überdekt. Diese Ventile werden mit Steckschlüssel bewegt und haben keine Entleerung; sie werden daher

nur für sogenannte Sommerleitungen, welche im Winter nicht in Betrieb, sondern entleert sind, verwendet. Derartige Sommerleitungen sind häufig die Leitungen in Gärten; sie haben Gefälle nach einem frostfreien Raume, wo das Hauptrohr mit der Entleerung sich befindet; da sie im Winter ausser Betrieb sind, so ist auch nicht nötig, ihre Tieflage unter dem Boden frostsicher zu nehmen; sie liegen deshalb gewöhnlich nur 0,5 m tief. Wird jedoch versäumt, diese Sommerleitungen vor Eintritt des Frostes abzusperren und zu entleeren, so kann durch Zerfrieren der Leitungen und Ventile ein bedeutender Schaden entstehen.

Sind die Leitungen, an welche die Sprenghähne angeschlossen sind, in frostsichere Tiefe verlegt, so versetzt man auch die Spritzhähne in diese Tiefe, gibt ihnen ein festes Standrohr und eine Schlüsselstange, die bis in den an der Oberfläche abdeckenden Hahnkasten sich erstrecken, ummauert das Ganze mit einem kleinen Schachte oder versieht es mit Mantelrohr (siehe Fig. 203, Taf. XV).

Diese Ventile sind mit Entleerung zu versehen, wenn das Standrohr ein feststehendes ist.

Soll ein Sprengventil auch zur Wasserentnahme mittels Wassergefässe benutzt werden, so wird die Schlüsselstange und ein mit dem Auslaufe verbundenes Steigrohr in einer kleinen gusseisernen Säule in die Höhe über den Boden geführt, so dass unter dem Auslaufe ein Wassergefäss zur Füllung aufgestellt werden kann (siehe Fig. 204, Taf. XV).

Für die Benutzung des Wassers zu Löschzwecken innerhalb der Gebäude werden Wand-Feuerhähne angewendet mit Schlauchverschraubungen. Fig. 205 (Taf. XV) zeigt einen solchen mit Flantschverbindung und schrägem Auslaufe, Fig. 206 (Taf. XV) mit Gewindeverbindung und geradem Auslaufe; zur Zeit der Nichtbenutzung ist der Auslauf durch eine aufgeschraubte Kappe bedeckt. Häufig ist mit dem Hahne zugleich ein Schlauch von entsprechender Länge samt Strahlrohr ständig verbunden, in diesem Falle werden die Hähne mit Schlauch durch einen kleinen Schrank unter Verschluss gehalten; bei Feuersgefahr ist durch Einschlagen der Glasscheibe des Schrankes entweder ein

Schlüssel zu dem Schranke, oder der Hahn mit Schlauch unmittelbar zu erreichen.

Zweckmässig ist es, die Leitungen für die Feuerhähne getrennt von den übrigen Bedarfsleitungen des Hauses anzulegen, weil diese Feuerleitungen bei Frostwetter abgesperrt und entleert werden müssen und weil sie überhaupt gewöhnlich eine viel grössere Lichtweite, nämlich wenigstens 50 mm D., haben als die übrigen Hausleitungen, die mit ihnen in Verbindung gebracht werden könnten, so dass das Wasser in den Feuerleitungen durch den gewöhnlichen Verbrauch nicht genügend in Bewegung versetzt würde, um seine Frische zu bewahren.

Bezüglich der Entleerung von Hausleitungen ist zu beachten, dass während des Leerlaufens immer der höchstgelegene Zapfhahn für den Einzug von Luft geöffnet sein muss und dass nach Vollendung des Leerlaufens nicht vergessen werden darf, diesen Hahn wieder gut zu schliessen.

Sind Zapfvorrichtungen an der Aussenfläche einer Mauer anzubringen, z. B. für Höfe, wo also die Ventile und Röhren im Winter dem Zufrieren ausgesetzt sind, so ist dafür entweder eine besondere Leitung aus einem frostfreien Raume, Keller oder Schachte mit Absperrhahn und Entleerung daselbst, zu verlegen oder, wenn nämlich der Innenraum hinter der Zapfstelle frostsicher ist, man wendet die durch Fig. 207 (Taf. XV) dargestellte Anordnung an. Danach sitzt das Absperrventil in der Leitung des warmen Innenraumes und ist durch eine durch die Mauer hindurchgehende Schlüsselstange mit Handrädchen von aussen zu öffnen und zu schliessen. Das Zweigrohr zu dem aussen angebrachten Zapfhahne geht unter dem Ventile mit Gefälle nach aussen durch die Mauer, so dass bei Schluss des Ventiles, das eine selbstthätige Luftöffnung hat, jedesmal auch eine Entleerung des unterhalb des Ventiles liegenden Auslaufrohres stattfindet. Diese Einrichtung hat gegenüber der vorerwähnten den Vorzug, dass sie bei Frostwetter ununterbrochenen Wasserbezug gestattet.

Fig. 208 (Taf. XV) ist ein Schwimmkugelventil und Fig. 209 (Taf. XV) ein Entleerungsventil in Verbin-

dung mit Überlaufsrohr, wie sie gewöhnlich für Sammelbehälter zum Schutze gegen deren Überfüllung angewendet werden.

In Fig. 210 ist ein Ventil für Waschtische abgebildet, das an der Mündung mit einer Brause versehen und um einen Konus oberhalb des Ventiles drehbar ist.

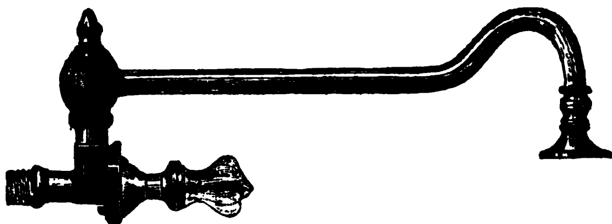


Fig. 210.

Um ein missbräuchliches Offenstehenlassen der Zapfventile möglichst zu vermeiden, wendet man sogenannte Selbstschlussventile an, welche nur so lange öffnen, als ein Druck von aussen auf ihnen lastet; sobald dieser Druck nicht mehr vorhanden ist, schliesst das Ventil von selbst. Es gibt eine grosse Menge derartiger Ventilkonstruktionen, die im allgemeinen aber keine grosse Verbreitung gefunden haben. Zunächst beugen sie einem beabsichtigten Missbrauche nicht vor, denn, um das geöffnete Selbstschlussventil auch nach Zurückziehung der den Druck auf das Ventil ausübenden Hand noch länger offen zu halten, bedarf es nur einer leicht zu bewirkenden Festellung der Ventilspindel durch Umlegung einer Schleife aus Bindfaden oder Draht. Ferner verursachen die Selbstschlussventile bei dem Schlusse, der viel rascher erfolgt, als der der Ventile mit Drehbewegung, einen Wasserschlag in der Leitung, welcher je nach der Konstruktion mehr oder weniger stark, aber immerhin der Leitung nicht zuträglich ist. Da weiter die Selbstschlussventile auch sorgfältigere Unterhaltung beanspruchen, so ist ihre Verwendung eine sehr beschränkte.

Für Klosettspülung sind Selbstschlussventile in Gebrauch, welche durch Zug öffnen, und durch ein am Zughebel angebrachtes

Gewicht von selbst schliessen, sobald der Zug aufhört; in Fig. 211 ist ein solches abgebildet.

In den meisten Städten ist übrigens die unmittelbare Verbindung der Klosetts mit der Wasserleitung nicht gestattet, sondern es müssen kleine Wasserbehälter aufgestellt werden, welche das Wasser aus der Leitung empfangen und andrerseits an die Abortschüsseln zu deren Spülung abgeben.

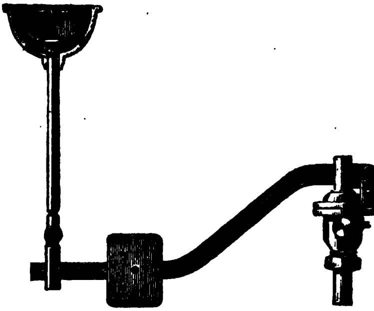


Fig. 211.

Die unmittelbare Verbindung der Abortbecken ist deshalb nicht gestattet, weil während der Entleerung der Hausleitungen in denselben ein Nachsaugen der Luft von aussen stattfindet, von den Aborten also durch die zufällig geöffneten Spülventile die übelriechende Luft in die Leitung dringen kann.

Die Spülbehälter der Aborte sind durch 10 mm weite Zweigleitungen an die Hausleitung angeschlossen; vor dem Spülbehälter ist in diese Zuleitung ein 10 mm-Absperrventil und im Spülbehälter ist vor die Mündung ein Schwimmkugelventil gesetzt, welches den Zulauf sperrt, sobald der Behälter gefüllt ist. Das Fall- oder Spülrohr von dem Behälter zum Abortbecken hat gewöhnlich eine Lichtweite von 30 mm, es mündet am Boden des Behälters mit einem Tellerventil, das mit dem Überlaufrohre fest verbunden und durch dieses belastet ist. Das Ventil wird durch Zug einer bis zum Abortsitze herabreichenden Kette und durch Vermittelung eines mit dem Ventile verbundenen Hebels geöffnet und damit zugleich der Schwimmerhebel gehoben, so dass, solange die Offenhaltung des Ventiles währt, das Schwimmerventil geschlossen, der Zulauf unterbrochen bleibt. Nach Loslassen der Kette schliesst das Ablaufventil durch sein Eigengewicht von selbst, der Schwimmerhebel wird frei, das Schwimmerventil öffnet wieder den Einlauf bis zur vollständigen Füllung des Behälters. Die Spülwassermenge ist bei Anwendung dieser Spülbehälter eine

beschränkte, denn es kann, solange man auch den Ventilzug festhält, immer nur der Inhalt des Behälters, der gewöhnlich 8 bis 10 l beträgt, zum Ablauf gelangen. Für eine wiederholte Spülung muss der Behälter erst wieder gefüllt werden, was schon einige Zeit in Anspruch nimmt, weil durch das kleine Absperrventil vor dem Behälter (das mit Steckschlüssel versehen ist) der Zulauf beliebig verlangsamt werden kann und festgestellt wird. Im allgemeinen haben die Benützer des Abortes keine Lust das Füllen abzuwarten, sondern begnügen sich mit der einen Spülung, die auch, wenn sonst die Beckeneinrichtung zweckmässig ist, vollständig ausreicht. Auf diese Weise wirken die Spülbehälter mit bemessener Spülwassermenge der Wasservergeudung entgegen (Fig. 212, Taf. XVI).

Diese Spülapparate werden auch für selbstthätige Spülung in regelmässigen Zeitabschnitten eingerichtet, in dem durch einen im Behälter angebrachten Saugheber die Entleerung durch das Spülrohr selbstthätig bewirkt wird, sobald der Wasserstand im Behälter die grösste Füllhöhe erreicht hat. Je nachdem man also den Wasserzulauf durch das Absperrventil regelt, dass die Füllung in 15 oder 30 Minuten erreicht wird, so wird auch immer alle viertel- oder halbe Stunden eine Spülung erfolgen. Diese Art Spülung wendet man häufig für öffentliche Aborte, besonders Pissoirs, an.

Die Spülung mittels dieser Behälter kann auch in der Weise selbstthätig gemacht werden, dass man den Kettenzug mit dem Abortsitze, der in einem Charnier beweglich ist, verbindet, so dass während der Sitzung die Füllung des Behälters stattfindet, und sobald der Sitz nicht mehr belastet ist, das Ablassventil sich öffnet und die Spülung durch Entleerung des Behälters vor sich geht. Der Behälter ist in diesem Falle also immer entleert, solange der Abortsitz nicht benutzt wird, was insofern günstig ist, als dadurch ein Einfrieren der Behälter vermieden wird.

Die Benützung des Wassers zu Badezwecken ist eine sehr ausgedehnte und mannichfaltige, es kann hier nur das Wesentliche davon erwähnt werden; für eine erschöpfende Behandlung dieses Stoffes, sowie überhaupt auch z. B. der Benutzung

des Wassers für Aborte und Pissoirs im privaten und öffentlichen Dienste, bietet das vorliegende Werk nicht genügend Raum.

Zu den Bädern wird meistens das Wasser bis zu einer bestimmten Temperatur erwärmt; die Erwärmung des Wassers wird durch besondere Vorrichtungen bewirkt. Die Erwärmung erfolgt entweder durch besondere Feuerung und Warmwasserkessel, oder durch Benutzung des Herdfeuers von Küchen, die tagsüber ständigen Betrieb haben, oder endlich auch durch Einleitung von Dampf.

Zur Benutzung des Herdfeuers wird über dem Roste an den Wänden des eigentlichen Feuerkastens entlang eine schmiedeeiserne Röhre von 30 bis 40 mm Lichtweite in Schlangenwindungen eingelegt und zwar, mit der Einlaufsmündung des Rohres beginnend, immer in ansteigender Richtung, so dass die Einlaufsmündung der Herdschlange den tiefsten, die Auslaufsmündung den höchsten Punkt derselben bilden. Die Einlaufsmündung sowie die Auslaufsmündung stehen mit einem oberhalb des Herdes an beliebigem Orte befindlichen Wasserbehälter in Verbindung.

Der Wasserbehälter kann ein vollständig geschlossener Kessel sein, der unmittelbar über dem Herde aufgestellt wird. Dieser Kessel erhält eine längliche, cylindrische Form mit gewölbtem Boden wegen der erforderlichen Festigkeit gegenüber dem Wasserdrucke von einigen Atmosphären; diese geschlossenen Wasserbehälter sind von Schmiedeeisen oder Kupfer. Die Verbindungsleitung des Kessels mit der Einlaufsmündung der Schlange mündet in den aufrecht stehenden Kessel etwa 0,30 m über dem untern Boden desselben, während die Verbindungsleitung mit dem Auslaufe der Herdschlange an dem oberen Boden des Kessels ausmündet, weil das kühlere, also spezifisch schwerere Wasser mit dem Bestreben der Abwärtsbewegung sich im unteren Teile, das wärmere leichtere Wasser mit dem Bestreben der Aufwärtsbewegung sich im oberen Teile des Kessels befindet. Durch die Erwärmung des Wassers in der Schlange tritt infolgedessen ein ununterbrochener Kreislauf zwischen Schlange und Kessel ein, indem das wärmere Wasser in der höher gelegenen Auslaufsröhre

aufsteigt — oben in den Kessel —, sich etwas abkühlt und nach unten sinkt, um neu zufliessendem, wärmerem Wasser Raum zu schaffen; das im unteren Kesselraume befindliche kühlere Wasser fällt durch das Verbindungsrohr abwärts, um in der Schlange das aufsteigende Wasser zu ersetzen. Von dem Kessel geht dann ebenfalls vom oberen Teile das Verteilungsrohr ab, welches das warme Wasser zu den Bedarfsstellen führt. Das Verbrauchswasser wird gleichzeitig wieder durch kaltes Wasser aus der Wasserleitung ersetzt, indem der Kessel auch mit der Wasserleitung durch ein am unteren Kesselraume einmündendes Rohr verbunden ist. Der Absperrhahn der Kaltwasserzuleitung ist stets geöffnet, solange der Kessel in Betrieb steht, so dass dieser ganz gefüllt ist und unter dem Betriebsdrucke der Wasserleitung steht, weshalb auch das Warmwasser des Kessels in jede Höhe über dem Kessel geleitet werden kann, welche noch unter dieser Druckhöhe des Wassers liegt. Zur Sicherheit gegen Überdruck infolge Dampfentwickelung ist die Anwendung eines Sicherheitsventiles zu empfehlen.

Statt eines Kessels kann man auch ein offenes Reservoir in solcher Höhe aufstellen, dass die Bedarfsstellen unter demselben liegen; die Verbindung der Schlange mit dem Behälter geschieht ebenso wie bei dem Kessel, dass nämlich das Verbindungsrohr des Schlangeneinlaufes über dem Boden des Behälters und das Verbindungsrohr des Schlangenauslaufes etwa 0,30—0,50 m über dem erstgenannten Rohre in den Behälter mündet. Diese letztgenannte Mündung darf nicht zu nahe am obern Rande des Behälters liegen, weil sie sonst bei starkem Wasserverbrauche und nicht gleich starkem Zulaufe von Kaltwasser oberhalb des Wasserspiegels liegen, mit Luft in Berührung kommen und dadurch der Kreislauf gestört würde. Die Verbindungsleitungen werden bei Aufstellung offener Behälter gewöhnlich länger als bei Kesseln, weil der offene Behälter immer über der Bedarfsstelle liegen muss, der Kessel aber möglichst nahe dem Herde aufgestellt werden kann. Die Kaltwasserzuleitung muss in den Behälter von oben, d. h. über dem höchsten Wasserstande, münden und mit Schwimmerventil versehen sein, sowie

ausserdem auch noch ein Überlauf und Entleerung für den Behälter anzubringen ist.

Für die Erwärmung des Wassers durch eigene Feuerung wird über dieser ein cylindrischer Kessel, wie der vorerwähnte, aufgestellt, der zur besseren Ausnutzung der Feuerung in seinem Innern mit einem zweiten Cylinder ausgestattet ist, durch dessen Hohlraum die Feuergase ziehen und das zwischen dem inneren und dem äusseren Cylinder befindliche Wasser erwärmen. Manchmal wird auch der innere Heizraum noch durch Querverbindungen des äusseren Wasserraumes unterbrochen, um die Wärme der Feuergase möglichst auszunutzen.

Die Kaltwasserzuführung mündet am Boden, die Warmwasserableitung im oberen Teile des Kessels.

Die Warmwasserabgabe an die Bedarfsstellen wird hier häufig, besonders wenn es sich nicht nur um eine, sondern um mehrere Bedarfsstellen handelt, durch einen darüber aufgestellten Wasserbehälter vermittelt, indem, wie oben bei der Herdschlange schon erwähnt wurde, der Behälter durch die Kreislaufsröhren mit dem Warmwasserkessel verbunden wird, so dass die eine Verbindungsröhre vom Boden des Wasserbehälters bis zum Boden des Kessels sich erstreckt, während die andere einerseits in dem oberen Raume des Kessels, andrerseits etwa 0,60 m über dem Boden des Wasserbehälters mündet. Die Kaltwasserzuleitung findet wie oben mittels Schwimmkugelhahnes in den Sammelbehälter statt.

Ist nur eine Bedarfsstelle für Warmwasser, z. B. eine Badewanne vorhanden, so wird der Warmwasserkessel, oder hier Badeofen, in der Nähe der Wanne aufgestellt; das Kaltwasserzuleitungsrohr mündet unmittelbar in den Wasserraum des Ofens am dessen Boden, während das Abflussrohr für Warmwasser im Oberteile dieses Wasserraumes ausmündet; das Kaltwasserzuleitungsrohr ist mit einem Absperrventile versehen, während das Warmwasserrohr keinerlei Absperrvorrichtung hat, so dass, wenn man bei vorher gefülltem Badeofen den Absperrhahn in der Kaltwasserzuleitung öffnet, das unter dem Betriebsdrucke in den Ofen unten gelangende Wasser das warme Wasser oben durch die Abflussröhre in die Wanne treibt. Vor Anfeuerung der Badeöfen

muss man sich immer durch Öffnung des erwähnten Absperrventiles zuerst überzeugen, dass der Ofen auch ganz gefüllt ist, indem man jenes Ventil so lange offen lässt, bis Wasser in die Wanne läuft. Ein Überdruck durch Dampfbildung im Wasserraume des Ofens ist hier nicht zu befürchten, weil die Abflussröhre immer offen ist. Bei Frostwetter, wenn das Badezimmer nicht immer genügend erwärmt wird, muss der Wasserraum des Ofens rechtzeitig entleert werden, zu welchem Zwecke am Boden desselben eine Entleerungsschraube angebracht ist. Vor Wiederbenutzung desselben darf man nicht versäumen, den Ofen wieder zu füllen.

Die Ventile für die Badebenutzung des Wassers werden zweckmässig neben der Wanne, für den in der Wanne Sitzenden bequem erreichbar, angebracht, und sind für die Wanne nur zwei Ventile erforderlich, die beide in der neben der Wanne an der Wand zum Ofen vorbeigeführten Kaltwasserzuleitung sitzen; das erste ist ein Zapfventil, welches geöffnet, Kaltwasser unmittelbar in die Wanne abgibt, während das folgende das Absperrventil für die Kaltwasserzuleitung ist, nach dessen Öffnung Warmwasser in die Wanne gelangt; durch gleichzeitiges Öffnen beider Ventile kann man nach Belieben Kalt- und Warmwasser in der Wanne mischen; der Eintritt des Kalt- und Warmwassers erfolgt von unten in die Wanne, damit der Körper des Badenden nicht unmittelbar davon berührt wird; auch ist die Dampfbildung durch den unter Wasser vor sich gehenden Warmwasserzufluss eine geringere, als wenn dieser über dem Wasser stattfindet.

Ist mit dem Wannenbad, wie gewöhnlich, noch eine Brause (Douche) verbunden, und soll diese nur mit Kaltwasser betrieben werden, so ist noch ein drittes Absperrventil für die Kaltwasserzweigleitung, welche zur Brause aufsteigt, erforderlich. Um auch die Brause mit einer beliebigen Mischung von Kalt- und Warmwasser zu speisen, hat man sogenannte Mischventile (die auch für die Wanne benutzt werden können) in Gebrauch.

In Fig. 213 (Taf. XVI) ist die Anlage einer Warmwasserbereitung für eine grössere Badeeinrichtung abgebildet; der Badeofen steht im gewölbten Erdgeschosse, wo

sich auch der Baderaum befindet, und im ersten Obergeschosse, unmittelbar über dem Ofen, ist der Warmwasserbehälter aufgestellt; die Bedeutung der Rohrleitungen ist aus der Zeichnung ersichtlich.

Fig. 214 (Taf. XVI) zeigt ein Wannenbad mit Brause; das Warmwasser wird in einem nebenstehenden Badeofen, der im Winter zugleich den Baderaum erwärmt, bereitet. Durch Öffnung des Hahnes, der mit „Kalt" auf der marmornen Deckplatte bezeichnet ist, fliesst Kaltwasser in die Wanne, durch Öffnung des Hahnes „Warm" fliesst Kaltwasser dem Ofen zu und treibt hierdurch Warmwasser in die Wanne; durch gleichzeitige Öffnung beider wird Warm und Kalt in der Wanne gemischt, durch Öffnung des Hahnes „Brause" ergiesst sich ein kalter Regen von oben herab.

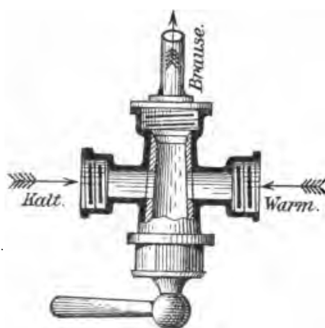


Fig. 215.

Um auch die Brause mit gemischtem Wasser zu versehen, wird für diese ein Dreiweghahn eingesetzt, welcher ermöglicht, sowohl Kaltwasser allein, als auch gleichzeitig Warmwasser der Brause zuzuführen.

Aus nebenstehender Fig. 215 ist die Bohrung des Konushahnes in dessen Quer- und Längenachse ersichtlich. Nach der Kaltwasserrichtung öffnet der Hahn etwas früher als nach der Warmwasserrichtung.

Zum Anwärmen des Wassers in Wasserbehältern und Badewannen bedient man sich da, wo gespannter Dampf zur Verfügung steht, des Dampfstrahlapparates, der in Verbindung mit dem Wasserbehälter in Fig. 216 (Taf. XVI) abgebildet ist, oder des Universalmischventiles von H. Schaffstaedt in Giessen, welches Fig. 217 (Taf. XVI) im Grundrisse und Fig. 218 (Taf. XVI) im Aufrisse zeigt und das sowohl zur Mischung von Dampf als auch Heisswasser mit Kaltwasser zu Brausen und zur Füllung von Wannen und Behältern ver-

wendet werden kann. Die beiden Ventile sind so angeordnet, dass bei Öffnung des Heisswassers, bezw. Dampfventiles, das Kaltwasserventil gezwungen wird, sich mit zu öffnen. Es kann deshalb niemals heisses Wasser oder Dampf für sich allein zugeführt werden, sondern nur mit gleichzeitiger Zuleitung von Kaltwasser; ein Verbrühen ist daher ausgeschlossen.

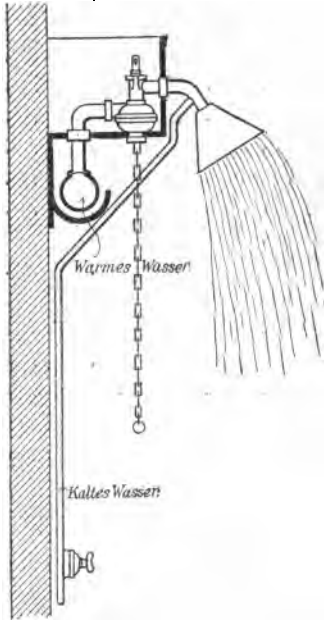


Fig. 219.

Nebenstehende Abbildung (Fig. 219) zeigt einen gewöhnlichen Zugbrauseapparat für gemischtes Wasser, wie er für die Volksbrausebäder üblich ist. Durch den Absperrhahn der Kaltwasserleitung wird der Zulauf des Kaltwassers, der gewünschten Mischung entsprechend, geregelt und dann erst durch den Kettenzug der Warmwasserzufluss hergestellt.

Mit umstehender Preisliste (Tab. XXVIII) schliesse ich den Abschnitt XI und damit auch mein Buch über die Wasserversorgung; indem ich mich von dem freundlichen Leser verabschiede, gebe ich mich der Hoffnung hin, den Erwartungen desselben von einem Buche, welches zeitgemässem Bedürfnisse vieler Interessenten genügen soll, entsprochen zu haben.

XXVIII. Preisliste über die hauptsächlichsten Ausrüstungsstücke für Hauswasserleitungen.

Benennung des Gegenstandes		Lichtweite in Millimeter							
		10	13	15	20	25	30	40	50
		Mk.	Mk.	Mk.	Mk.	Mk.	Mk.	Mk.	Mk.
Gummi- oder Niederschraubhähne, Fig. 190 . . .	à Stück	2.—	2.50	3.—	3.75	5.50	10.—	15.—	25.—
Durchgangs- und Absperrventile, Fig. 191 . . .	„	2.40	2.70	3.30	4.30	6.50	10.—	15.—	20.—
Ventilzapfhähne, Fig. 196	„	1.50	1.80	2.30	3.—	5.50	10.—	15.—	20.—
Ventilzapfhahn mit Schlauchverschraubung, Fig. 201	„	2.70	3.20	4.—	5.—	7.—	11.—	16.—	22.—
„ Messingne Auslauftülle, Mehrkosten	„	0.30	0.40	0.45	0.50	0.60	—	—	—
„ mit Sperrhahn, Fig. 200	„	4.—	4.50	5.—	6.—	9.—	14.—	20.—	30.—
Selbstschluss-Ventilzapfhahn	„	4.—	4.50	7.50	—	—	—	—	—
Durchgangs-Ventilhahn mit selbstthätiger Entleerung, Fig. 195	„	—	6.—	7.—	8.—	9.50	14.—	21.—	30.—
Kegel-Anbohrhähne	„	—	4.—	5.—	6.25	9.—	14.—	21.—	—
Kegel-Haupthähne mit selbstthätiger Entleerung, Fig. 192	„	—	4.20	5.—	5.50	8.50	12.—	16.—	25.—
Schwimmkugel-Ventilhähne, Fig. 208	„	3.80	4.50	5.40	6.50	9.—	12.—	18.—	27.—
Hof- und Garten-Spreng-Ventilhähne, Fig. 202 . .	„	—	4.50	5.50	7.—	8.50	14.—	20.—	—
Strahlrohr mit Zerstäuber und Schlauchtülle, Fig. 220 (Taf. XVI)	„	5.50	7.—	9.—	12.—	—	—	—	—
Messingene Schlauchverschraubungen, Fig. 221 (Taf. XVI)	„	0.70	1.—	1.25	1.50	2.25	3.—	5.—	8.—
Gummierte Hanfschläuche, das laufende Meter		—	3.—	3.10	3.30	3.50	3.75	4.50	5.50
Gummischläuche mit zwei Hanfeinlagen, das laufende Meter		—	2.40	2.60	3.—	4.—	5.—	6.—	8.—

Tabellenverzeichnis.

Leipzig, Walter Wigands Buchdruckerei.

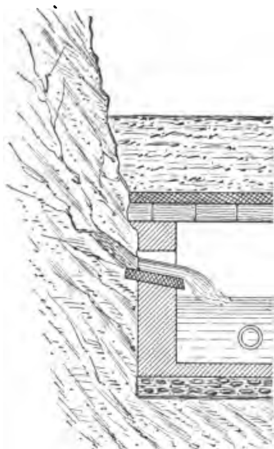
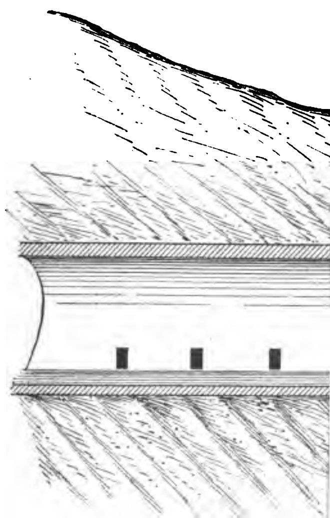
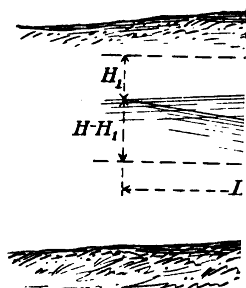
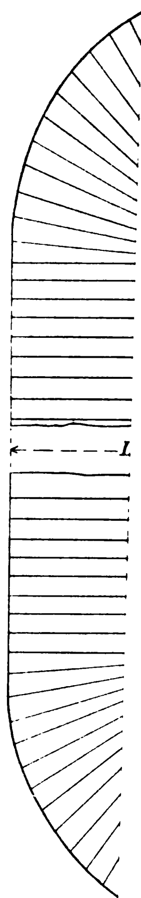


Fig. 1

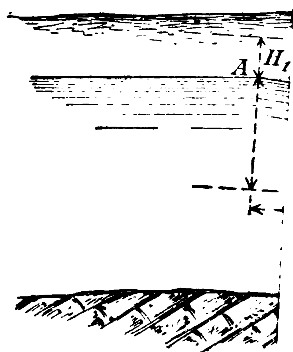


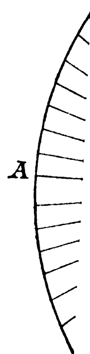


H_1
$H-H_1$
L



L


A
H_1


A

Sic

Fig. 35.

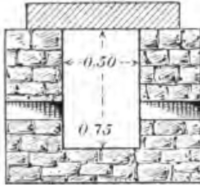
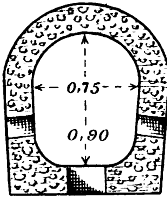
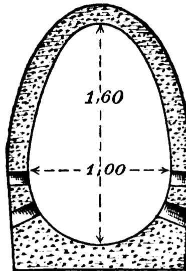


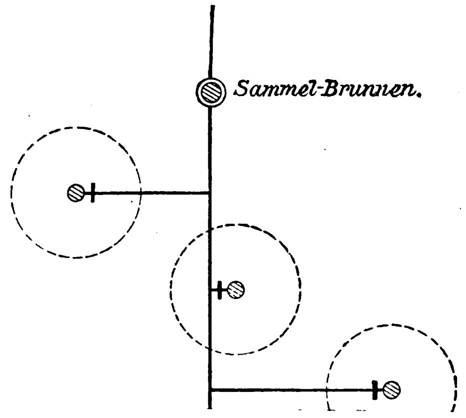
Fig. 38.

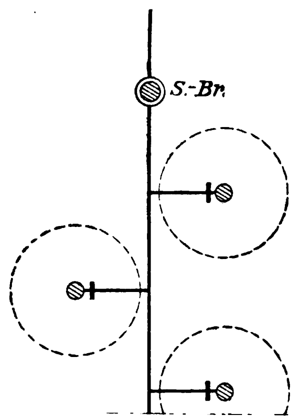


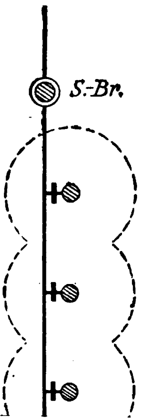
Betonkanal.

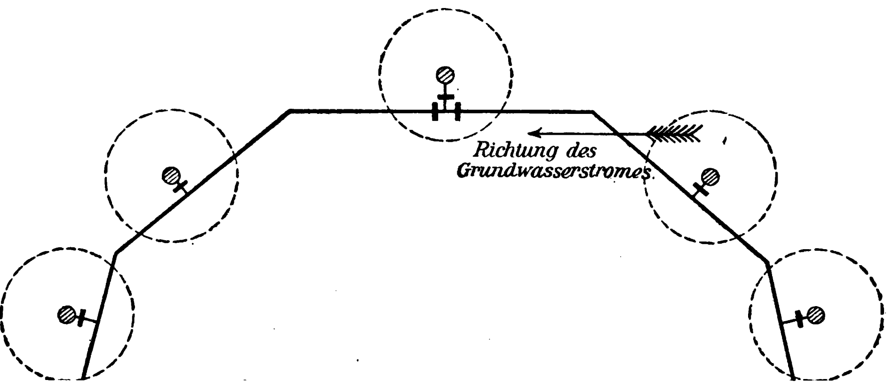
Fig. 41.

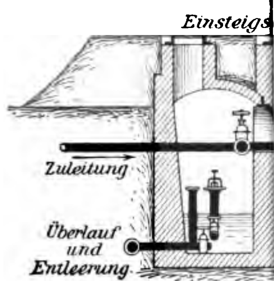



Sammel-Brunnen.


S.-Br.


S.-Br.


Richtung des
Grundwasserstromes



Zuleitung

Über-u
Leerlauf

T

Sicht

(Mas

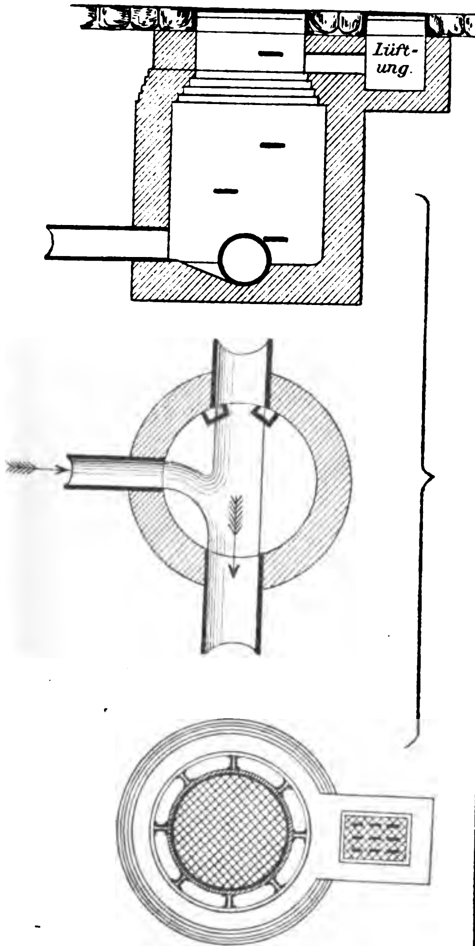
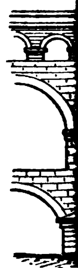


Fig. 122.



lröhren.

Formstücke. (Maßstab = 1:20).

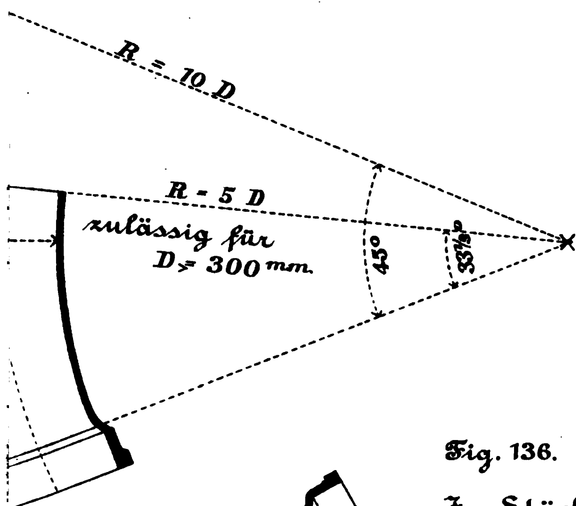
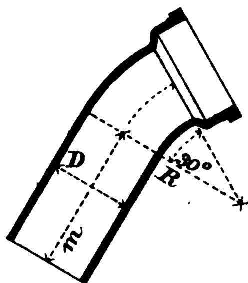


Fig. 136.

J - Stück



R = 250 für D = 40 - 90 m.m.

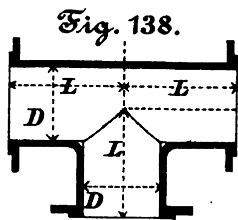
R = 150 + D " D ≥ 100

m = D + 200

m = 600 m.m. für D ≥ 400

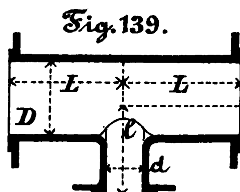
Flansch-Abzweige.

Fig. 138.



$L = 100 + D$;

Fig. 139.



$l = \frac{D}{2} + \frac{d}{2}$



Fig. 196.

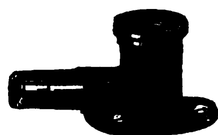


Fig. 197.

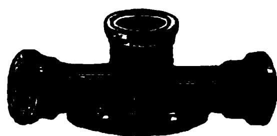


Fig. 198.



Fig. 199.



Fig. 207.



Fig. 209.

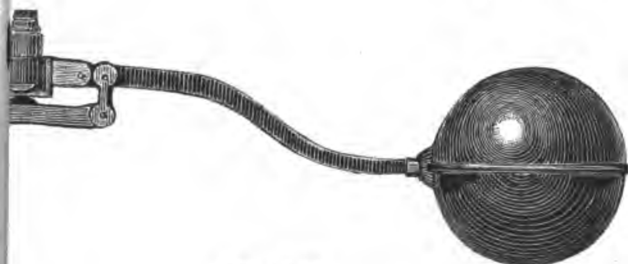
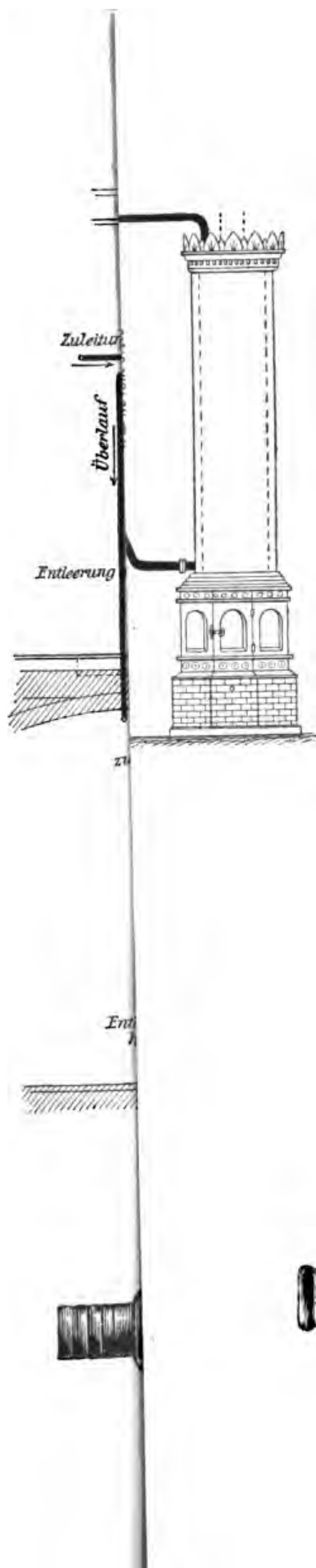


Fig. 208.



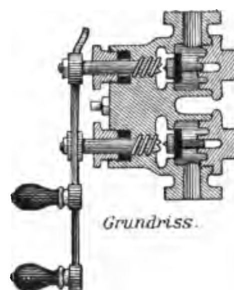


Fig. 217.

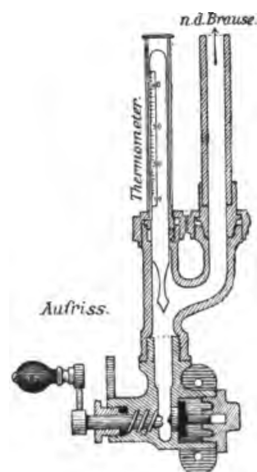


Fig. 218.

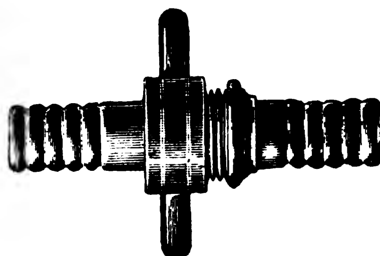
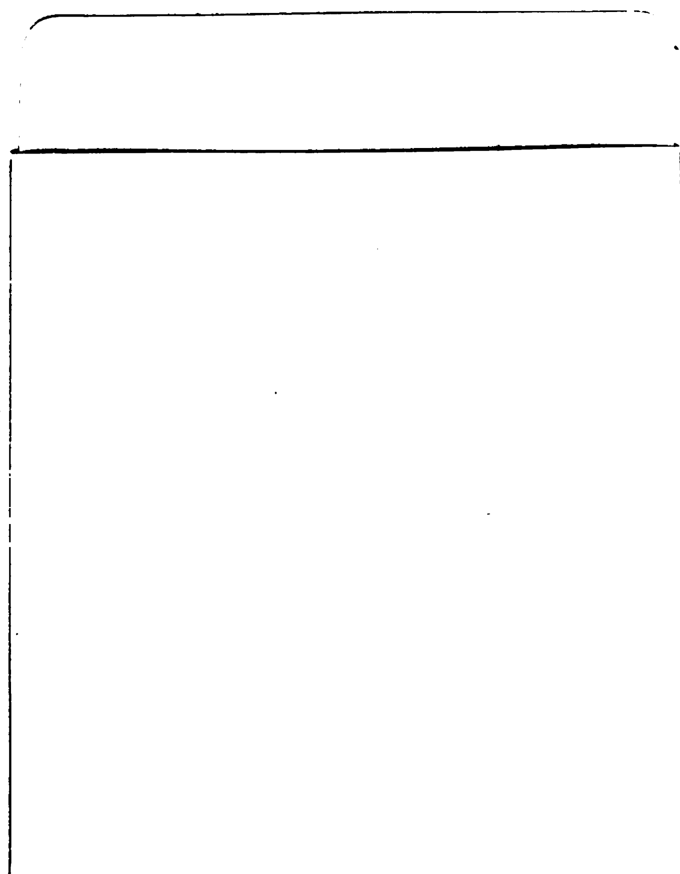


Fig. 221.



89088899505
B89088899505A




89088899505
B89088899505A



